

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ

ВОЛГОГРАДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И ИНФОРМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Выпуск 3

№ 9(35) Межвузовский сборник научных статей 2007
Издается с января 2004 г.

РПК
"Политехник"
Волгоград
2007

Учредитель: ГОУ высшего профессионального образования
"Волгоградский государственный технический университет"

Сборник зарегистрирован в Управлении регистрации и лицензионной работы в сфере массовых коммуникаций федеральной службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия ПИ № ФС77-25660 от 13 сентября 2006 г.

Главный редактор сборника "Известия ВолгГТУ"

д-р хим. наук проф. член-корр. РАН *И. А. Новаков*

Редакционная коллегия серии: д-р техн наук проф. *В. А. Камаев* (главный редактор),
д-р техн наук проф. *В. И. Аверченков*,
д-р техн наук проф. *О. Н. Андрейчикова*,
д-р техн наук проф. *А. М. Бершальский*,
д-р техн наук проф. *А. Н. Бутенко*,
д-р техн наук проф. *Г. Д. Волкова*,
д-р техн наук проф. *А. М. Дворянкин*,
д-р техн наук проф. *В. М. Курейчик*,
д-р техн наук проф. *В. С. Лукьянов*,
д-р техн наук проф. *Ю. П. Муха*,
д-р техн наук проф. *С. А. Фоменков* (ответственный секретарь)

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 9(35) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – 156 с. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 3).

Сборник научных статей содержит работы ученых высших учебных заведений России по следующим темам: математическое моделирование и численные методы, системный анализ и обработка информации, управление в социальных и экономических системах, автоматизированное проектирование, построение сетей и защита информации.

ISSN 1990-5297

Ил. 117. Табл. 31. Библиогр.: 205 назв.

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

| | |
|--|----|
| <i>Айсин А. Е., Моисеева Л. С.</i> Статистическая модель ингибиторной композиции для защиты от коррозии оборудования водооборотных циклов ГПЗ..... | 5 |
| <i>Беззубикова С. С.</i> Моделирование многомерного массива данных для целей управленческого учета финансовых потоков университета..... | 8 |
| <i>Гетманский В. В., Горобцов А. С.</i> Решение задач большой размерности в системах моделирования многотельной динамики с использованием параллельных вычислений..... | 10 |
| <i>Голованчиков А. Б., Блинков М. Н., Новиков М. Г., Дулькина Н. А.</i> Проектирование и оптимизация режима работы напорной ветроэнергетической установки..... | 13 |
| <i>Голованчиков А. Б., Владимцева И. В., Гермашева Ю. С., Дулькина Н. А.</i> Моделирование промышленных электрофлотаторов с учетом структуры потоков..... | 15 |
| <i>Дмитренко А. В., Черняев А. В.</i> Модель интеллектуальной системы для анализа последствий разливов нефти из трубопроводов..... | 18 |
| <i>Кузнецова Е. С.</i> Исследование модели двухуровневой АСУ шаровой мельницы сухого помола цемента..... | 20 |
| <i>Степанченко И. В., Семенов В. Г., Сургутанов В. В.</i> Реализация генетического алгоритма адаптации параметров регулятора в распределенной вычислительной системе..... | 24 |
| <i>Федотова Н. В., Кривошеин Д. А., Дмитренко В. П.</i> Разработка математической модели сточных вод, загрязненных смазочно-охлаждающими жидкостями (СОЖ) | 27 |

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

| | |
|---|----|
| <i>Аверченков В. И., Роцин С. М., Казаков Ю. М., Шкаберин В. А.</i> Мониторинг и анализ информации в Интернете..... | 31 |
| <i>Аверьянов С. В., Кумунжиев К. В.</i> Система поддержки принятия решений для сервисов с многоступенчатой обработкой транзакций..... | 37 |
| <i>Бердник В. Л.</i> Декомпозиция задачи идентификации сущности для учета нелингвистических составляющих..... | 41 |
| <i>Бердник В. Л., Заболеева-Зотова А. В.</i> Семантический анализ высказываний идентификации сущности..... | 46 |
| <i>Жильцов П. В.</i> Выбор оптимальных сигналов с цифровыми методами модуляции с использованием процедуры выбора адаптивного типа..... | 48 |
| <i>Заболеева-Зотова А. В., Орлова Ю. А.</i> Автоматизация процедур семантического анализа текста технического задания..... | 52 |
| <i>Кудряшова Э. Е.</i> Разработка адаптивной АОС на основе международных спецификаций..... | 55 |
| <i>Лукьянов В. С., Кузнецова Е. С.</i> Оценка параметров надежности АСУ с учетом допустимого времени простоев системы..... | 57 |
| <i>Морозов Р. Л.</i> Поисковые рейтинги российского Интернета..... | 60 |
| <i>Прохоров И. В.</i> Автоматизация поиска слов иноязычного происхождения в лексических системах естественных языков..... | 62 |

| | | |
|--|---|-----|
| <i>Розалиев В. Л.</i> | Построение модели эмоций по речи человека..... | 65 |
| <i>Силина А. Ю., Васильева В. Д., Дербишер В. Е.</i> | Наукометрический анализ отечественных информационных потоков в текстильной отрасли..... | 69 |
| УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ | | |
| <i>Вахранев И. Б.</i> | Методика построения архитектуры информационных систем..... | 74 |
| <i>Герейханов Р. Г.</i> | Некоторые аспекты управления информационными системами..... | 81 |
| <i>Ефимова Е. А.</i> | Контроль и анализ предзаторовых ситуаций транспортных потоков..... | 85 |
| <i>Крохалев А. В., Декатов Д. Е.</i> | Использование факторного анализа для изучения структуры остаточных знаний по курсу "Технология материалов"..... | 87 |
| <i>Крушель Е. Г., Семенов В. Г., Степанченко И. В., Сургутанов В. В.</i> | Нелинейные алгоритмы регулирования микроклимата..... | 89 |
| <i>Окладникова С. В.</i> | Количественная оценка содержания тестовых заданий для компьютерного тестирования..... | 92 |
| <i>Панфилов А. Э., Камаев В. А.</i> | Методика формального описания объектов технологического процесса для автоматизированной системы конструирования АСУТП..... | 94 |
| <i>Савкин А. Н., Декатов Д. Е., Захаров Е. А., Крохалев А. В.</i> | Разработка и реализация компонентов информационной системы поддержки процесса заочного обучения в Волгоградском государственном техническом университете..... | 98 |
| <i>Халилова А. А.</i> | Сервисный подход в области информатизации..... | 101 |
| АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ | | |
| <i>Гурская Т. Г., Зарипова В. М.</i> | Энерго-информационная модель для эффекта потенциала течения..... | 104 |
| <i>Кандырин Ю. В., Кошелев А. М.</i> | Многокритериальное упорядочивание объектов в ассоциативных структурах фактор-множеств..... | 107 |
| <i>Петрухин А. В., Золотарев А. В.</i> | Автоматизация построения и анализа 3d моделей в задачах медицинской диагностики..... | 111 |
| <i>Резников М. В., Горбцов А. С.</i> | Разработка метода интеграции CAD-CAE систем..... | 114 |
| <i>Роцин М. А.</i> | Подход для автоматизации проектирования программного обеспечения..... | 118 |
| <i>Фищенко А. Н.</i> | Использование метода конечных элементов при решении математической модели процесса вулканизации шин..... | 127 |
| <i>Хватынец С. А.</i> | Островной эвристический метод проектирования многослойных коммутаци- онных плат..... | 130 |
| ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ | | |
| <i>Кочкадаев А. В., Дикарина Г. В., Ташлинский А. Г.</i> | Сокращение вычислительных затрат при поиске по эталону фрагмента на большом изображении..... | 135 |
| <i>Кутузов Д. В., Осовский А. В.</i> | Имитационное моделирование параллельной пространственной коммутаци- онной системы..... | 141 |
| <i>Лукьянов В. С., Влазнев Д. Г.</i> | Особенности применения алгоритма Ежи-Вильямса при проектировании топо- логии вычислительной сети с учетом ограничений, налагаемых используемым оборудованием и ограничений, налагаемых на применяемые каналы связи..... | 144 |
| МЕТОДИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА | | |
| <i>Савкин А. Н.</i> | Моделирование рассеянной поврежденности сталей в зависимости от полноты спектра внешнего нерегулярного нагружения, аппроксимированного блочной нагрузкой..... | 147 |

УДК 622.343

А. Е. Айсин, Л. С. Моисеева

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНГИБИТОРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ ОБОРУДОВАНИЯ ВОДОБОРОТНЫХ ЦИКЛОВ ГПЗ

"МАТИ" – Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского (cad@vstu.ru)

Цель данной работы – поиск эффективной ингибиторной композиции и оптимизация состава синергической композиции с использованием метода математического планирования.

Ключевые слова: системы оборотного водоснабжения, ингибиторная композиция.

A. E. Aysin, L. S. Moiseev

A STATISTICAL MODEL OF INHIBITOR COMPOSITION FOR CORROSION PROTECTION OF WATER CIRCULATION EQUIPMENT

The target of the present paper is searching an effective inhibitor composition and optimizing it using the mathematical planning method.

Water circulation systems, inhibitor composition.

На нефтегазоперерабатывающих предприятиях широко используются системы оборотного водоснабжения. Растворенные в воде коррозионно-активные газы (CO_2 , O_2) органические и неорганические соединения, присутствующие микроорганизмы вызывают процессы коррозии, металлической поверхности оборудования и как результат – коррозионные повреждения оборудования трубопроводов. Для защиты от коррозии системы оборотного водоснабжения часто применяются синергические ингибиторные композиции [2]. Цель данной работы – поиск эффективной ингибиторной композиции и оптимизация состава синергической композиции с использованием метода математического планирования.

В лабораторных и производственных условиях измерение скорости коррозии V производилось весовым методом. Эффективность защитного действия ингибиторов характеризовали коэффициентом торможения γ или степенью защиты Z %.

Результаты определения скорости коррозии стали в оборотной и подпиточной воде без и с промышленным ингибитором A , рекомендуемым к применению в аналогичных условиях, представлены в табл. 1.

Предлагаемый предприятию ингибитор A на основе полифосфатов оказался не эффективным в условиях невысокой минерализации (табл. 1).

Для того, чтобы повысить эффективность ингибитора A в умягченной воде в среду, помимо него, вводили некоторые неорганические вещества.

В табл. 2 представлены результаты измерения скорости коррозии Ст.3 в оборотной воде в присутствии A и ряда добавок.

Таблица 1

Скорость коррозии Ст.3 в модельной водной среде при температуре 20 ± 2 °C

| Вода | Время испытаний, ч | Концентрация ингибитора, г/л | Скорость коррозии, $\text{г/м}^2 \times \text{ч}$ | | γ |
|------------------------|--------------------|------------------------------|---|--------|----------|
| | | | без инг | с инг | |
| Подпиточная | 24 | – | 0,2412 | – | – |
| | 96 | 5 | 0,1309 | 0,0834 | 1,5 |
| | 168 | 5 | 0,0935 | 0,0799 | 1,1 |
| | 384 | 5 | 0,1123 | 0,2135 | 0,5 |
| Оборотная | 24 | 5 | 0,1981 | 0,0919 | 2,1 |
| | 168 | 5 | 0,0968 | 0,1202 | 0,8 |
| | 240 | 5 | 0,0709 | 0,2125 | 0,3 |
| | 384 | 5 | 0,0766 | 0,2104 | 0,3 |
| Оборотная (упа-ренная) | 24 | – | 1,0756 | – | – |
| | 96 | 5 | 0,9301 | 0,8915 | 1,0 |
| | 384 | 5 | 0,5660 | 0,4681 | 1,2 |
| | 408 | – | 0,0504 | – | – |
| | 1032 | – | 0,0859 | – | – |

Таблица 2

Влияние смесей на скорость коррозии Ст.3 в оборотной воде ($\tau = 168$ ч, 20 °C)

| Добавка | Содержание добавки, г/л | Содержание инг. A , г/л | V , $\text{г/м}^2 \times \text{ч}$ | γ |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------|
| NaNO_2 | 0,5 | 2 | 0,0534 | 3,0 |
| | 0,25 | 2 | 0,1185 | 1,4 |
| | 0,1 | 2 | 0,2405 | 1,1 |
| AlCl_3 | 0,1 | 1 | 0,0564 | 1,7 |
| | 0,05 | 1 | 0,0744 | 1,3 |
| | 0,025 | 1 | 0,0960 | 1,0 |
| CaCl_2 | 0,17 | 2 | 0,0015 | 65 |
| | 0,17 | 5 | 0,0047 | 21 |
| $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | 0,17 | 2 | 0,0642 | 1,5 |
| | 0,17 | 5 | 0,0046 | 21 |

Результаты показали, что ингибиторная смесь, пригодная для воды с низким содержанием солей должна содержать анионы SO_3^{2-} и AlO_2^- . Определение оптимального состава ингибиторной смеси осуществлялось методом планирования эксперимента.

Определение оптимального состава ингибиторных композиций в случаях, когда отсутствует физическая модель, описывающая влияние компонентов на коррозионный процесс, возможно при использовании статистического метода планирования и проведения эксперимента по методу Бокса-Уилсона [3].

Ниже представлены результаты определения оптимального состава двухкомпонентной ингибиторной композиции для нейтральных водных сред, полученные методом математического планирования эксперимента.

Состав композиции варьировался в определенных пределах, образуя так называемое факторное пространство. Функция отклика – величина обратная скорости коррозии (V):

$$\ddot{Y} = \frac{1}{V}. \quad (1)$$

Для построения линейной математической модели первого порядка использовалась методика выполнения полного факторного эксперимента (ПФЭ). Полный факторный эксперимент при минимальном числе опытов позволяет построить наилучшую модель, отвечающую целому ряду критериев оптимальности [3]. План проведения полного факторного эксперимента и ядро представлены в табл. 1. На каждой стадии проведения экспериментов опыты повторялись дважды, чтобы можно было проверить адекватность модели с точки зрения статистических методов [3, 4]. На основании полученных результатов производился расчет коэффициентов линейной модели, определялось направление изменения концентрации компонентов и новый интервал концентраций, на границах которого выполнялся ПФЭ. Факторы в табл. 1 нормированы относительно этого интервала:

$$X_j^H = \frac{2X_j^P - (X_{j\max} + X_{j\min})}{X_{j\max} - X_{j\min}}, \quad (2)$$

где X_j^P и X_j^H соответственно реальная и нормированная величина фактора.

В табл. 5 приведены значения реальных факторов при определении оптимального состава ингибитора.

Таблица 3

**Скорость коррозии Ст.3 в оборотной воде с добавками смесей неорганических веществ.
(Продолжительность опытов 168 часов)**

| № смеси | Состав смеси | Содержание компонентов, г/л | V , г/м ² ×ч | γ |
|---------|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------|
| 1 | Na_2SiO_3 | 0,285 | 0,0645 | 2,7 |
| | NaHCO_3 | 0,09 | | |
| | $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ | 0,033 | | |
| 2 | Na_2SiO_3 | 0,5 | 0,101 | 1,7 |
| | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ | 1 | | |
| 3 | Na_2SiO_3 | 0,5 | 0,0198 | 8,8 |
| | $\text{NaAlO}_2 + \text{NaOH}$ (1н) | 1 | | |
| | Трилон Б (1н) | 0,4 | | |

Таблица 4

Ротатабельный центральный композиционный план второго порядка

| Участки плана | № опыта | План | | Функция отклика | |
|----------------|---------|---------|---------|-----------------|---------------------|
| | | X_1^* | X_2^* | Опытная Y_u | Теоретическая Y_u |
| Ядро плана | 1 | -1 | -1 | 12,495 | 10,672 |
| | 2 | +1 | -1 | 14,259 | 11,064 |
| | 3 | +1 | +1 | 14,324 | 11,764 |
| | 4 | -1 | +1 | 12,552 | 11,364 |
| Звездные точки | 5 | +1,414 | 0 | 10,787 | 13,674 |
| | 6 | -1,414 | 0 | 12,165 | 13,113 |
| | 7 | 0 | +1,414 | 8,097 | 9,531 |
| | 8 | 0 | -1,414 | 6,215 | 8,547 |
| Центр плана | 9 | 0 | 0 | 9,643 | 10,745 |
| | 10 | 0 | 0 | 8,873 | 10,745 |
| | 11 | 0 | 0 | 11,350 | 10,745 |
| | 12 | 0 | 0 | 14,880 | 10,745 |
| | 13 | 0 | 0 | 9,140 | 10,745 |

Таблица 5

Значения реальных факторов в опытах

| № опыта | Факторы | | | | | |
|---------|---|---------|--------|---|---------|--------|
| | Содержание (г/л) NaAlO_2 на уровне | | | Содержание (г/л) NaSiO_3 на уровне | | |
| | верхнем | нулевом | нижнем | верхнем | нулевом | нижнем |
| 1 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| 2 | 0,45 | 0,35 | 0,25 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| 3 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,5 | 0,4 |

Для того чтобы оказаться в области предполагаемого экстремума, проведено два этапа построения модели первого порядка. Так как эта модель адекватно описывает опытные данные, переход в новую точку факторного пространства совершать не надо. Для получения более

полной информации с зависимости скорости коррозии от концентрации компонентов план ПФЭ был расширен до ротатабельного центрального композиционного плана второго порядка (РЦКП), путем проведения дополнительных опытов в центре ПФЭ и в так называемых "звездных точках" (табл. 1.). Достоинства РЦКП: сохраняется информация, полученная при выполнении ПФЭ и дисперсия отклика одинакова во всех направлениях [3, 4]. В результате реализации РЦКП было получено уравнение регрессии для модели второго порядка:

$$\hat{Y} = 10,746 + 0,198X_1 + 0,348X_2 + 1,324X_1^2 - 0,853X_2^2 + 0,002X_1 \cdot X_2 \quad (3)$$

Статистический анализ модели показал, что модель не адекватна, но значимыми в ней могут считаться только коэффициенты при квадратичных членах и свободный член, поскольку теоретическое значение критерия Стьюдента для этих коэффициентов сравнимо с рассчитанным для модели [3, 4].

Путем определения координат особенной точки и поворотом координатных осей получено каноническое уравнение поверхности второго порядка, в новой ортогональной системе координат, отвечающее модели (3):

$$\hat{Y} - 10,797 = 1,317 X_1^2 - 0,846 X_2^2 \quad (4)$$

Полученное уравнение представляет собой уравнение седловой поверхности, причем координаты центра седловой поверхности находятся в области проведения эксперимента, то есть область предполагаемого экстремума представляет собой седловую точку, а не точку максимума.

Результаты статистического анализа модели приведены в табл. 6.

Установлено, что защитное действие ингибиторной композиции меняется во времени. Так как разработанная защитная композиция на основе алюмината и силиката натрия относится к ингибиторам пленочного типа, формирование пленки завершается через 120 часов. Так, через 15 дней после начала испытаний скорость коррозии образцов в пилотной установке достигала 0,008 г/м²·час, снизившись за это время в 7 раз.

Таблица 6

Статистический анализ полученной модели

| Анализируемый параметр | Критерий | Уровень значимости, % | Величина | | Примечание |
|---------------------------------|-----------|-----------------------|----------|--------|-------------|
| | | | теорет | расчет | |
| Адекватность модели | Фишера | 95 | 6,59 | 2,08 | адекватна |
| Значимость коэффициентов модели | Стьюдента | 95 | | | |
| V ₀ | | | 2,306 | 10,74 | значимый |
| V ₁ | | | 2,306 | 0,19 | не значимый |
| V ₂ | | | 2,306 | 0,34 | не значимый |
| V ₁₁ | | | 2,306 | 1,32 | значимый |
| V ₁₂ | | | 2,306 | 0,0019 | не значимый |
| V ₂₂ | | | 2,306 | 0,85 | значимый |

Таким образом, в системе периодически необходимо создавать повышенную концентрацию ингибитора на время до 5 суток, после чего она может снижаться в 5 раз, составляя 0,2 г/л. Необходимо также предусмотреть последовательное введение компонентов в защищаемую систему порядок их введения не имеет значения.

Таким образом, применение математических моделей, позволяет оптимизировать процесс поиска оптимального соотношения компонентов в ингибиторной композиции и разработки технологии ингибиторной защиты от коррозии металла в оборотной и подпиточной воде газоперерабатывающего предприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Изд-во "Наука", 1971.
2. Левин А. И. Математическое моделирование в исследованиях и проектировании станков. – М.: Машиностроение, 1978. – 184 с.
3. Тюрин А. Г. Семинары по химической технологии и моделированию технологических процессов: Методические указания; Челябинск: Челяб. гос. Университет, 1995. – 30 с.

УДК 336.6

С. С. Беззубикова
**МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОМЕРНОГО МАССИВА ДАННЫХ
 ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ УНИВЕРСИТЕТА**

Астраханский государственный университет (bezzubikova@mail.ru)

Работа посвящена разработке модели многомерного хранилища данных о финансовых потоках университета и её реализации.

Ключевые слова: хранилища данных, технология OLAP.

S. S. Bezzubikova
**MODELLING MULTIDIMENSIONAL DATA ARRAY FOR MANAGEMENT ACCOUNT
 OF UNIVERSITY FINANCIAL STREAMS**

The paper is devoted to development of the model of multidimensional data storage for university financial streams and implementation of the model.

Data storages, OLAP.

Проведение всестороннего анализа экономической деятельности высшего учебного заведения невозможно без детальной обработки информации о хозяйственной деятельности каждого подразделения. В то же время данная информация должна отвечать требованиям управленческого учета и содержать все необходимые сведения для проведения всестороннего анализа деятельности подразделений. Таким образом, следует сделать вывод о необходимости разработки модели многомерного хранилища данных и реализации предложенной модели с минимальным привлечением финансовых затрат.

Для осуществления управленческого учета и распределения финансовых средств, как бюджетных, так и полученных от предпринимательской и иной приносящей доход деятельности, в Астраханском государственном университете (АГУ) была предложена и реализована модель многомерного хранения информации, где были учтены все необходимые разрезы анализа информации:

1. *Код классификации доходов, ведомственной, функциональной классификации расходов бюджетов, классификации источников финансирования дефицита бюджетов [1] (КБК)*. Данный раздел аналитического учета необходим для классификации всех финансовых поступлений высшего учебного заведения в зависимости от принадлежности к главным распорядителям средств. На данный момент в АГУ финансовые средства учитываются в разрезе нескольких групп КБК (КБК средств федерального бюджета, КБК средств, полученных от предпринимательской и иной приносящей доход деятельности, а также КБК средств грантов на научные исследования).

2. *Источники финансирования деятельности (ИФ)*. В настоящее время используется два

вида финансирования – средства Федерального бюджета и средства, полученные от предпринимательской и иной приносящей доход деятельности. Сочетание источника финансирования с кодом бюджетной классификации определяет характер и принадлежность денежных средств.

3. *Код классификации операций сектора государственного управления (КОСГУ) [1]*. Данный вид аналитического учета характеризует статью расходов подразделения, т. е. на какие именно расходы были потрачены средства: оборудование, материалы, заработная плата, стипендия, командировочные расходы и т. д.

4. *Временной интервал*. Указывает, в какой период времени были потрачены или получены денежные средства.

5. *Подразделение*. Данный вид аналитики необходим для анализа текущих доходов и расходов учебного заведения в разрезе кафедр и прочих структурных подразделений.

Таким образом, модель хранения информации представляет собой многомерный массив данных с пятью вышеуказанными разрезами аналитической информации (рис. 1).

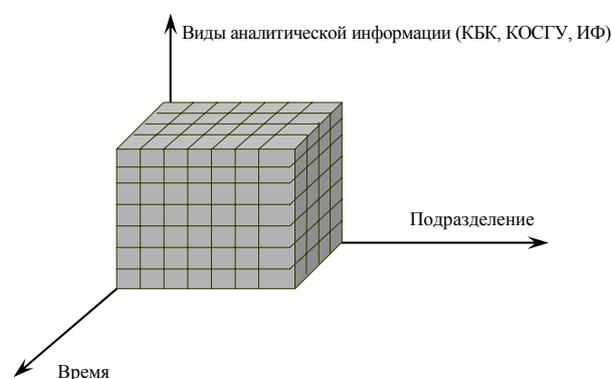


Рис. 1. Модель хранения многомерной финансовой информации

Реализация модели хранения многомерной финансовой информации автоматизированными средствами разработки приложений должна удовлетворять условиям:

1. Обеспечение оперативного доступа к данным при минимальных временных затратах;
2. Невысокая требовательность к техническим характеристикам сервера баз данных и рабочих станций;
3. Сравнительно низкая стоимость эксплуатации программного обеспечения.

Для реализации многомерной модели с учетом ограничивающих условий было предложено использование среды "1С:Предприятия версии 7.7", в частности, компоненты "Оперативный учет", где ключевую роль играет объект "бухгалтерский счет". В стандартной типовой конфигурации "1С:Бухгалтерия", данные оперативного учета отражаются проводками, содержащими балансовые счета – т. е. данные, которые впоследствии отражаются в бухгалтерском балансе предприятия. Забалансовые счета предназначены в основном для отражения вспомогательной учетной информации. Такая организация хранения позволяет обрабатывать данные встроенным инструментарием "бухгалтерские итоги", который обеспечивает доступ к информации в различных разрезах, за различные периоды и с разной степенью детализации с минимальными временными затратами.

Для целей управленческого учета денежных средств АГУ было предложено использовать следующие забалансовые счета для отражения всей финансовой информации:

Счет "РАСХОДЫ". Отражает расходы структурных подразделений в разрезе следующих видов аналитической информации (суб-конто):

1. КБК
2. КОСГУ
3. Подразделение

Счет "ДОХОДЫ". На данном счете учитываются доходы структурного подразделения – средства, поступающие от платной образовательной деятельности, выигранные гранты и т. п. Имеет аналогичные счету расходов разрезы аналитического учета, с добавлением дополнительного разреза "Специальность", где отражается информация о поступлениях фи-

нансовых средств от обучения студентов в разрезе специальностей.

Объект "Бухгалтерская проводка" имеет встроенную временную характеристику, следовательно, учитывается необходимый для анализа временной интервал.

Преимущества такого способа представления финансовой информации заключаются в следующем:

1. Отказ от громоздкой структуры связанных таблиц. Использование реляционного подхода при создании многомерного хранилища информации обуславливается сложной архитектурой соподчиненных справочников и громоздкостью базы данных, что усложняет доступ к информации. Предлагаемая реализация модели обеспечивает хранение большого объема аналитической информации, используя только один тип объекта "бухгалтерский счет".

2. Минимальные временные затраты при выполнении запросов.

3. Нетребовательность к физическим характеристикам оборудования. Согласно системным требованиям, для оптимальной работы системы "1С:Предприятие" рекомендуется использовать компьютер с процессором Intel Pentium 133 и не менее 32 Мб оперативной памяти [2].

4. Невысокая стоимость программного обеспечения. Для установки и эксплуатации программного обеспечения достаточно приобрести лицензионный программный продукт "1С:Бухгалтерия" минимальной стоимости 3000 руб. [3].

Предложенная модель многомерного хранения данных и ее реализация позволяет проводить всесторонний анализ деятельности и университета в целом, и отдельного подразделения для принятия управленческих решений. При проектировании хранилища информации использована объектная модель, что позволило максимально упростить структуру базы данных и обеспечить оперативный доступ к аналитическим сведениям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приказ Министерства финансов Российской Федерации № 25Н от 10.02.2006 "Об утверждении инструкции по бюджетному учету".
2. "1С:Предприятие версия 7.7". Руководство по установке и запуску. М.: Фирма "1С", 2000.
3. <http://partweb.1c.ru/Orders/ProductList.aspx>

УДК 519.673

*В. В. Гетманский, А. С. Горобцов***РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ В СИСТЕМАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОТЕЛЬНОЙ ДИНАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

Волгоградский государственный технический университет (victor.getmanski@gmail.com, gorobtsov@avtlg.ru)

В статье рассматриваются задачи большой размерности для расчета динамики систем тел. Цели разработки новых методов параллельного решения – увеличение размерности моделей в современных CAE пакетах и ускорение расчета с минимальными затратами на перепроектирование CAE систем.

Ключевые слова: CAE, динамика систем тел, параллельные вычисления, многоядерные архитектуры, декомпозиция моделей.

*V. V. Getmansky, A. S. Gorobtsov***LARGE-SCALE TASKS SOLVING IN MULTIBODY DYNAMICS SIMULATION SYSTEMS USING PARALLEL COMPUTING**

In the article considered the problem of large scale tasks of solving multibody dynamic systems. The proposes for developing methods of parallel solving is extending the dimension of models in modern CAE software and obtaining a speedup with minimal efforts to redesign existing CAE systems.

CAE, multibody dynamics, parallel computing, multicore, model decomposition.

Среди систем инженерного анализа (CAE – computer-aided engineering) выделяют пакеты, предназначенные для моделирования многотельной динамики связанных систем тел (MBS – multi body simulation). В задачах подобного рода производится численное интегрирование системы дифференциально-алгебраических уравнений второго порядка. Размерность матрицы системы пропорциональна числу степеней свободы многотельной конструкции. В процессе расчета многотельных моделей, как правило, производится генерация уравнений, описывающих многотельную модель, в символьной форме.

При увеличении количества тел возникает проблема решения таких систем, по следующим причинам:

необходимы алгебраические операции над большими матрицами (от 10^6 элементов);

при численном расчете количество итераций превышает 10^3 , что сказывается на скорости расчета;

для задач большой размерности велика жесткость системы дифференциальных уравнений, поэтому теряется устойчивость численного метода, и требуется уменьшать шаг;

метод символьного представления уравнений имеет ограничения на количество переменных как внутри CAE пакета, так и в используемых компиляторах.

Проблему можно решить, если разбить матрицу системы на подматрицы и решить систему по частям [4]. При этом необходимо соблюдать условие слабой связанности [1] подсистем. Решение будет полностью соответствовать полученному на полной модели в случае полной независимости решений для каждой их подсистем.

При найденном разбиении можно использовать параллельный подход к решению задачи. Каждая подсистема рассчитывается в отдельном процессе. На каждой итерации количество

параллельных процессов соответствует числу подсистем. После расчета нового решения происходит синхронизация. В качестве синхронизации используется барьер, расставленный в двух точках алгоритма: перед началом чтения данных управляющим процессом и перед началом пересылки считанных данных.

При решении задач большой размерности в CAE пакете необходимо пересылать большое количество данных. Выполняется от 10^3 итераций, на каждой из которых происходит количество пересылок, пропорциональное числу расчеченных связей. Для этого необходимо наладить скоростной обмен между процессами. В разработанной системе использован механизм именованных каналов, предоставляемый операционной системой Windows. Это средство межпроцессного взаимодействия (IPC – inter-process communications) [8] доступно и в других операционных системах, например, в Unix. Именованные каналы работают в дуплексном режиме двусторонней передачи и расширяемы для сетевого взаимодействия процессов [7].

Система синхронизации использует надежный алгоритм, который не допускает взаимоблокировок, конфликтов при обращении к разделяемой памяти и не предъявляет к архитектуре ЭВМ специальных требований (особых инструкций). Алгоритм синхронизации основан на подходе с использованием управляющего монитора. При этом вводится дополнительный процесс, осуществляющий почти всю логику перераспределения данных между процессами. Единственный недостаток в невыполнении требования к оптимальности использования ресурсов, так как требуется дополнительный процесс. Главные достоинства – независимость от архитектуры ЭВМ и снятие нагрузки с расчетных процессов за счет переноса алгоритма синхронизации на управляющий.

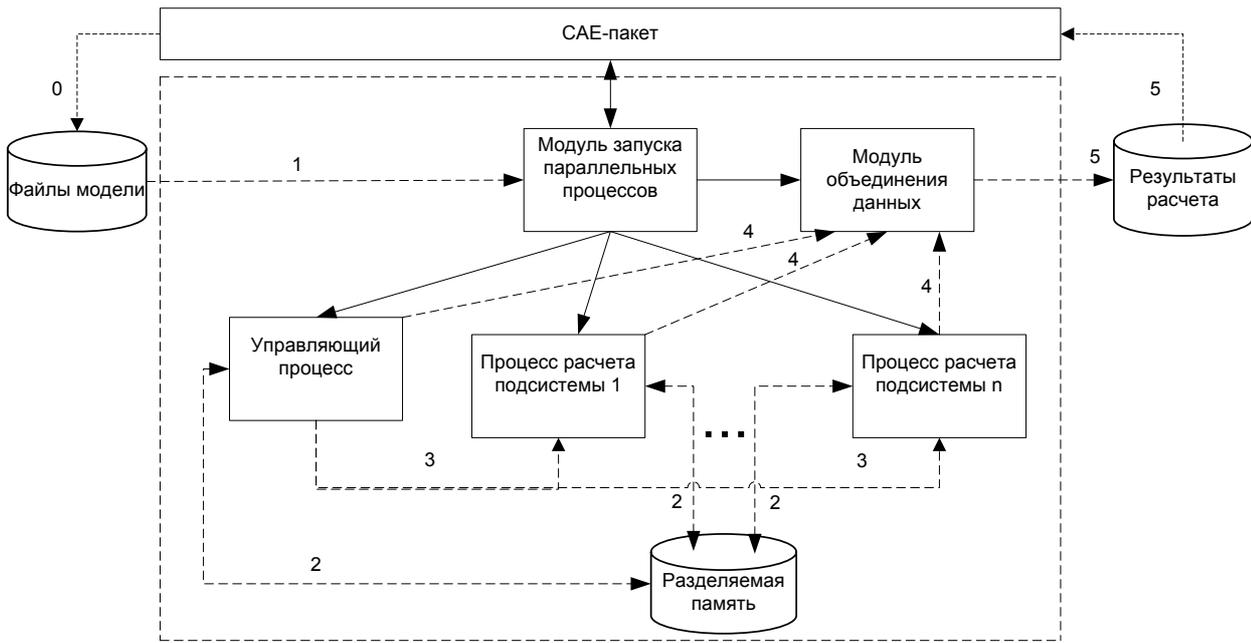


Рис. 1 Архитектура системы синхронизации параллельных расчетов:

0 – параметры и геометрическое описание полной модели; 1 – данные адресации результатов для модели; 2 – пересылаемые между процессами данные; 3 – таблица синхронизации; 4 – результаты расчета подмоделей; 5 – собранные результаты расчета полной модели

С учетом требований к системе синхронизации параллельного решения задач большой размерности и возможностей современных операционных систем разработана клиент-серверная архитектура подсистемы синхронизации (рис. 1). В роли клиентов выступают решающие процессы, сервер – это многопоточное приложение, осуществляющее синхронное перераспределение данных между клиентами, функции управляющего монитора и сервисные функции, обеспечивающие подключение и отключение клиентов.

Интеграция системы возможна при условии, что САЕ пакет предоставляет данные о модели, в том числе назначение адресов хранения расчетных данных и интерфейс доступа к общей памяти.

Логика функционирования системы состоит в том, что модуль запуска параллельных процессов запускает на выполнение серверную часть и последовательно всех клиентов. Сервер начинает массовую рассылку своего имени через почтовые ячейки. Клиенты в это время осуществляют поиск сервера, пока не удастся к нему подключиться. После подключения всех клиентов сервер переходит в режим приема и рассылки данных.

За счет использования таблицы синхронизации с адресами пересылаемых данных использование системы в пакете сводится к добавлению единственной функции в код каждого решателя с параметром-номером решателя.

Разработанная система предназначена для решения задач большой размерности в пакете многотельного моделирования ФРУНД. Разработанная система тестировалась на моделях, считаемых во ФРУНДе для сравнения временных показателей и результатов расчета. Результаты совпали, что доказывает справедливость использованных методов. Из-за наличия нескольких процессов на однопроцессорной машине наблюдалось замедление. При расчете конечноэлементной балки замедление снижалось с ростом размерности задачи. Для 10 тел в составе полной модели оно составило 30 раз, а для 150 – 5 раз. Зависимость снижения замедления от размерности была обратно пропорциональной. Это подтверждается законом Амдала [3], если выразить ускорение параллельного алгоритма через относительные доли времени выполнения последовательного и параллельного кода:

$$S_p = \frac{(T_s + T_p)}{(T_s + T_p/N)} = \frac{1}{(S + P/N)},$$

где S_p – ускорение;

T_s – время последовательного расчета;

T_p – время параллельного расчета;

$S = T_s / (T_s + T_p)$ – относительная доля времени выполнения последовательной части;

$P = T_p / (T_s + T_p)$ – относительная доля времени выполнения параллельной части.

С учетом того, что $S + P = 1$

$$S_p = \left(S + \frac{1-S}{N} \right)^{-1} \xrightarrow{N \rightarrow \infty} \frac{1}{S}.$$

При увеличении размерности относительная доля времени на выполнение последовательного кода падает, так как растет время на расчет одной итерации, а время на пересылки при одинаковом количестве подмоделей остается постоянным.

Тестирование системы параллельных расчетов проводилось на модели гибкой балки. В качестве тестовой задачи рассматривался расчет динамики балки при сварке взрывом. Использовалась конечноэлементная модель гибкой балки, представляющая набор пластин, соединенных пружинами. Фрагмент расчетной схемы показан на рис. 2.

Практические результаты тестирования на моделях разной размерности, полученные с использованием параллельного расчета, приведены на рис. 3.

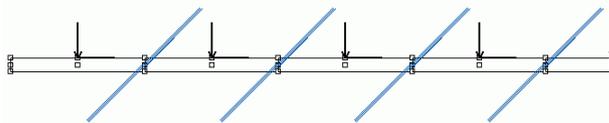


Рис. 2. Фрагмент расчетной схемы балки при сварке взрывом

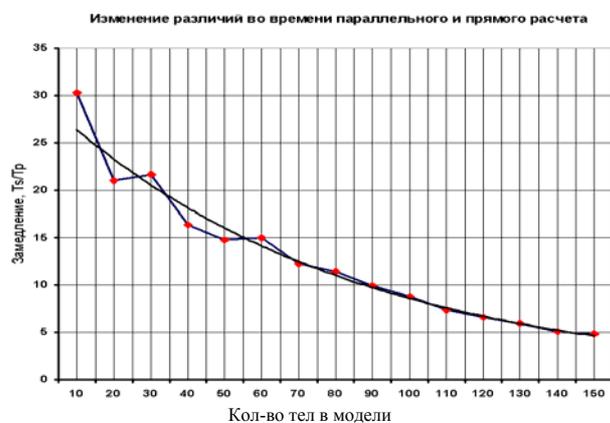


Рис. 3. Зависимость замедления от размерности задачи (однопроцессорный расчет)

Результаты тестирования показали, что применение системы оправдано для больших задач, и метод может дать прирост скорости расчета при использовании системы на симметричных мультипроцессорах [6], в частности на ЭВМ с многоядерными процессорами.

ФРУНД имеет ограничение, составляющее 500 тел на модель. Дальнейшее тестирование проводилось на моделях большой размерности, не считаемых в пакете. Для балки из 600 элементов расчет динамики дал замедление в 1,86 раз, а для 900 тел – в 1,61. При этом время прямого расчета вычислялось относительно измеренного времени расчета максимальной модели с учетом его линейной зависимости от числа тел для данной задачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Банах, Л. Я.* Условия разбиения системы дифференциально-алгебраических уравнений на слабосвязанные подсистемы / Л. Я. Банах, А. С. Горобцов, О. К. Чесноков // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2006. – Т. 46, № 12. – С. 2223–2227.
2. *Бочаров, Н. В.* Технология и техника параллельного программирования [Электронный ресурс] / Н. В. Бочаров. – [2007]. – Режим доступа: <http://dks.invitation.ru>.
3. *Букатов, А. А.* Программирование многопроцессорных вычислительных систем / А. А. Букатов, В. Н. Дацик, А. И. Жегуло. – Ростов н/Дону: ЦВВР, 2003. – 208 с.
4. *Крон, Г.* Исследование сложных систем по частям – диакоптика / Г. Крон; пер. с англ. Л. Я. Банах [и др.]; под ред. А. В. Баранова. – М.: Наука, 1972. – 544 с.
5. *Нагорный, Л. Я.* Многоуровневые алгоритмы и структуры распараллеливания решений систем уравнений большой размерности [Электронный ресурс] / Л. Я. Нагорный, И. А. Жуков. – [2007]. – Режим доступа: <http://www.icfst.kiev.ua/SYMPOSIUM/Proceedings/Nagorni.y.doc>.
6. *Немнюгин, С. А.* Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем / С. А. Немнюгин, О. Л. Стесик. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 396 с.
7. *Рихтер, Дж.* Windows для профессионалов: создание эффективных Win32 приложений с учетом специфики 64-разрядной версии Windows: пер. с англ. / Дж. Рихтер. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2001. – 752 с.
8. *Харт, Дж.* Системное программирование в среде Win32: пер. с англ. / Джонсон М. Харт – 2-е изд. – М.: Идательский дом "Вильямс", 2001. – 464 с.

УДК 621.311

А. Б. Голованчиков, М. Н. Блинков, М. Г. Новиков, Н. А. Дулькина
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ
НАПОРНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Волгоградский государственный технический университет (golovanchikov@vstu.ru, dnataly@mail.ru)

Приведены зависимости скорости вращения лопастей от скорости ветра для напорной ветроэнергетической установки.

Ключевые слова: скорость вращения, скорость ветра.

A. B. Golovanchikov, M. N. Blinkov, M. G. Novikov, N. A. Dulkina
THE PROJECTING AND THE OPTIMIZATION OF A WORKREGIME
OF A FORCING WIND-POWER PLANT

The dependences of a speed of rotation of blades on wind speed for a forcing wind-power plant are given.
 Rotation speed, wind speed.

По закону Ньютона сила воздействия жидкости или газа на тело при его обтекании описывается уравнением [1]

$$F_b = \Psi \rho \frac{V^2}{2} S \quad (1)$$

или для давления $\Delta p = \frac{F_b}{S}$

$$\Delta p = \Psi \rho \frac{V^2}{2} \quad (2)$$

Для ветроэнергетической установки скорость V представляет разность скоростей ветра V_b и колеса V_k [2, 3]

$$\Delta p = \Psi \rho \frac{(V_b - V_k)^2}{2} \quad (3)$$

Тогда удельная мощность ветроэнергетической установки, то есть мощность единицы поверхности, нормальной к вектору скорости ветра V_b

$$N_y = \Delta p V_k = \Psi \frac{\rho}{2} (V_b - V_k)^2 V_k \quad (4)$$

Определяем экстремумы удельной мощности как функции скорости колеса. Для этого приравняем ее производную нулю

$$\frac{dN_y}{dV_k} = \Psi \frac{\rho}{2} [-2(V_b - V_k)V_k + (V_b - V_k)^2] = 0.$$

Первый экстремум имеет место при $V_b = V_k$ и соответствует минимуму $N_y = 0$.

Второй экстремум имеет место при $V_k = \frac{V_b}{3}$ и соответствует максимуму удельной мощности ветроэнергетической установки.

Таким образом, внешний потребитель энергии ветроэнергетической установки должен обеспечивать торможение ветроколеса так, чтобы

$$V_k = \frac{1}{3} V_b \quad (5)$$

Определим теоретический коэффициент использования энергии ветра ветроэнергетической установки, работающей в оптимальном

режиме (5). Удельная мощность кинетической энергии ветра описывается формулой

$$N_{yb} = \frac{\rho V_b^3}{2} \quad (6)$$

Тогда отношение правых частей уравнения (4) и (6) с учетом (5) представляют собой наибольший возможный коэффициент использования энергии ветра ветроэнергетической установки при преобразовании кинетической энергии ветра в полезную работу потребителя на валу ветроколеса, когда $V_k = \frac{V_b}{3}$

$$\xi = \frac{4}{27} \Psi = 0,148 \cdot \Psi \quad (7)$$

Для ламинарного режима обтекания лопатки в виде плоского круга

$$\Psi = \frac{24}{Re}$$

где $Re = \frac{(V_b - V_k) \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{2}{3} \frac{V_b \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad Re \leq 2.$

Так как $\mu = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Тогда

$$Re = \frac{2 V_b \cdot d \cdot 1,2}{3 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}} = \frac{4}{9} \cdot 10^5 \cdot V_b \cdot d = 0,445 \cdot 10^5 V_b \cdot d$$

В пределе $2 \geq 0,445 \cdot 10^5 \cdot V_b \cdot d.$

Тогда $d \leq \frac{2}{0,445 \cdot 10^5 V_b}$, то есть ламинарный ре-

жим работы ветроэнергетической установки, когда $\Psi = \frac{24}{Re}$ не реален, тоже можно показать и

для переходного режима $2 \leq Re \leq 500$ с коэффициентом сопротивления, описываемым формулой Аллена

$$\Psi = \frac{0,312}{Re^{0,6}}.$$

Практический интерес представляет автономный режим, когда $Re > 500$ и $\Psi = 0,44$

В этом случае согласно формуле (7)

$$\xi = 0,148 \cdot 0,44 = 0,0652 = 6,52\%,$$

то есть максимальный теоретический коэффициент использования энергии ветра напорной ветроэнергетической установки с лопастями в виде плоского круга не превышает 6,5 %.

При этом необходимо обеспечить $Re = 0,445 \cdot 10^5 V_B > 500$

$$500 < 0,445 \cdot 10^5 V_B \cdot d,$$

что реально при всех рабочих скоростях ветра и сечениях лопаток колес.

Определим максимальный теоретический коэффициент использования энергии ветра напорной ветроэнергетической установки с четырьмя лопастями в виде полусфер (рис. 1).

В результате экспериментальных исследований на моделях после аппроксимации опытных данных МНК получено уравнение

$$\Psi = 1,2 \cdot \left(\frac{L}{d_3}\right)^{0,6} \left[0,34 + 1,08 \cdot \left(\frac{\pi}{4} - \varphi\right)^2\right] \quad (8)$$

при $\frac{L}{d_3} \leq 3$ (учет эффекта экранирования лопастей) при $\frac{L}{d_3} > 3$

$$\Psi = 2,32 \cdot \left[0,34 + 1,08 \cdot \left(\frac{\pi}{4} - \varphi\right)^2\right]. \quad (9)$$

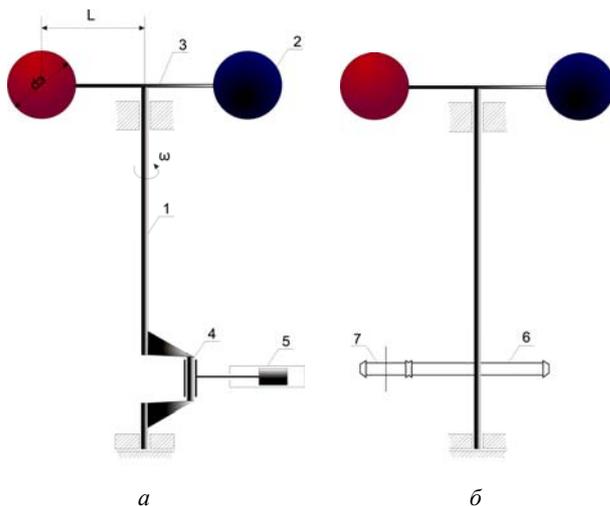


Рис. 1. Схема напорной ветроустановки:

а) с присоединенным через кривошипно-шатунный механизм насосом: 1 – вал; 2 – лопатка в виде полусферы; 3 – спица; 4 – кривошипно-шатунный механизм насоса; 5 – насос поршневого (плунжерный); б) с повышающим число оборотов редуктором и центробежным насосом: 6 – шестерня вала; 7 – редуктор

Для четырех лопастей $\varphi \leq \frac{\pi}{2}$ соответствует

циклу (периоду).

Усреднение φ по углу в пределах от 0 до $\frac{\pi}{2}$

дает значение

$$\Psi = 1,2 \cdot \left(\frac{L}{d_3}\right)^{0,6} \cdot 0,562 = 0,674 \cdot \left(\frac{L}{d_3}\right)^{0,6}$$

при $\frac{L}{d_3} \leq 3$ (10)

$$\Psi = 2,32 \cdot 0,562 = 1,304 \text{ при } \frac{L}{d_3} > 3$$

Подставляя в уравнение (7) максимальное значение $\Psi = 1,304$ получаем максимально возможный коэффициент использования энергии ветра для напорной ветроустановки с лопастями в виде полусферы

$$\xi = 0,148 \cdot 1,322 = 0,19316 = 19,32\%$$

Определим максимальную нагрузку на валу ветроколеса, обеспечивающую оптимум удельной мощности $V_k = \frac{1}{3} V_B$

Из дифференциального уравнения баланса сил

$$m \cdot \frac{dV_k}{dt} + F = F_B. \quad (11)$$

Получаем с учетом формулы (1) и (8)

$$m \cdot \frac{dV_k}{dt} + F = 2,32 \cdot \left(\frac{L}{d_3}\right)^{0,6} \left[0,34 + 1,08 \cdot \left(\frac{\pi}{4} - \varphi\right)^2\right] \cdot \frac{\rho}{2} (V_B - V_k)^2 \cdot S,$$

где $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{4}$.

Здесь m – масса колеса; F – внешняя сила (нагрузка, приведенная к центру колеса на плече L).

При $m = 20$ кг, $V_B = 5$ м/с, оптимальная скорость колеса $V_k = 5/3$ м/с. Тогда при длине плеча от оси до центра колеса $L = 1,25$ м и площади полусфер $S = 0,5$ м², плотности воздуха $\rho = 1,2$ кг/м³ допустимая внешняя сила $F = 2,94$ Н. График разгона ветроколеса от $V_k = 0$ до $V_k = V_B / 3$, рассчитанный по формуле (11) с учетом (10) представлен на рис. 2. Как видно из этого рисунка, колесо при вышеназванных параметрах разгоняется до скорости равной 95 %

от номинальной за 30 с, совершив за это время 16 оборотов.

Значения, соответствующие стационарному режиму работы ветроколеса при оптимальной внешней нагрузке, обеспечивающей максимальный к. п. д. для скорости $V_k = \frac{1}{3}V_b$, представлена в таблице.

Оптимальная внешняя сила F рассчитывалась по формуле (11) при $\frac{dV_k}{dt} = 0$ с учетом (1)

и (10). Здесь же для примера приведена зависимость расхода воды, которую можно закачивать насосом на высоту 10 м в соответствии с уравнением [4]

$$F \cdot V_k = \rho_w \cdot g \cdot H \cdot q_v,$$

где $\rho_w = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды.

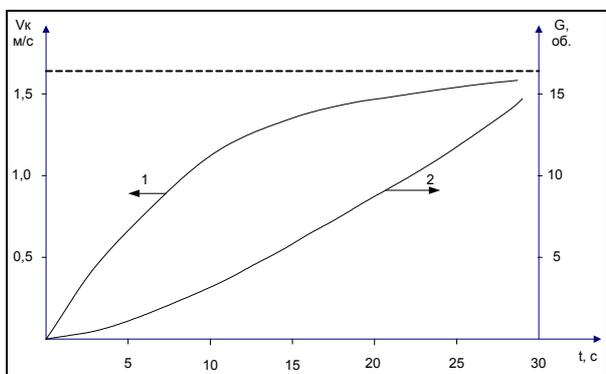


Рис. 2. Скорость разгона ветроколеса (1) и число оборотов (2) при оптимальной внешней нагрузке $F = 2,94 \text{ Н}$, скорости ветра $V = 5 \text{ м/с}$ номинальной скорости ветроколеса $1,67 \text{ м/с}$.

Таблица

Зависимость оптимальной внешней нагрузки крутящего момента, числа оборотов ветроколеса и производительности по перекачиваемой воде на высоту 10 м от скорости ветра

| Скорость ветра V_b , м/с | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------------------------|-------|------|-------|--------|-------|-------|------|-------|
| Внешняя сила F , Н | 1,06 | 1,88 | 2,94 | 4,2 | 5,76 | 7,52 | 9,52 | 11,76 |
| Крутящий момент, Нм | 1,32 | 2,35 | 3,67 | 5,29 | 7,2 | 9,41 | 11,9 | 14,8 |
| Число оборотов в минуту ветроколеса | 7,6 | 10,2 | 12,7 | 15,3 | 17,8 | 20,4 | 22,9 | 25,5 |
| Производительность насоса, л/час | 38,85 | 92,9 | 179,8 | 310,10 | 493,5 | 736,7 | 1049 | 1439 |

Как видно из таблицы, уже при средних скоростях ветра $V_b = 3 \div 6 \text{ м/с}$ напорная ветроустановка, соединенная непосредственно с насосом может обеспечить производительность от 40 до 300 л/час по воде, поднимая ее на 10 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 9-е изд. пер. и доп. М., Химия, 1973, 754 с.
2. Васильев Ю. С., Хрисанов Н. И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1991, 343 с.
3. Никитин Д. П., Новиков Ю. В. Окружающая среда и человек. – М.: Высшая школа, 1980, 424 с.
4. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1981, 560 с.

УДК 628.15/16

А. Б. Голованчиков, И. В. Владимцева, Ю. С. Гермашева, Н. А. Дулькина
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОФЛОТАТОРОВ
С УЧЕТОМ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ

Волгоградский государственный технический университет (golovanchikov@vstu.ru, dnataly@mail.ru)

Предложен алгоритм расчета электрофлотаторов с реальной структурой потока. Проведено сравнение аппаратов идеального и реального перемешивания.

Ключевые слова: флотация, электролиз воды, структура потоков, макро- и микроуровень смешения.

A. B. Golovanchikov, I. V. Vladimceva, U. S. Germashova, N. A. Dulkina
THE MODELLING OF A INDUSTRIAL ELECTROFLOTATOR CONCERNING
ON THE STRUCTURE OF A CURRENT

The algorithm of the calculation of a electroflotator with a real structure of a current is offered. The comparison of the ideal and real apparats of hashing is given.

Flotation, water electrolysis, structure of current, macro- and micro- level of mixing.

Обычно структура потоков во флотационных и электрофлотационных аппаратах существенно отличается от идеального смешения, особенно для аппаратов большого объема. Ни импеллеры, ни пузырьки газа в

напорной флотации не могут мгновенно выравнивать концентрацию частиц или капель дисперсной фазы по всему объему аппарата, т. е. создавать безградиентный концентрационный фон [1, 2].

$$\frac{\partial c_j}{\partial x_i} = 0,$$

где $j = 1, 2$ – соответственно частицы или капельки дисперсной фазы и пузырьки газа; $i = 1, 2, 3$ – оси координат x, y, z .

Соответственно функция распределения частиц по времени пребывания (РВП-функция) не описывается экспоненциальной зависимостью

$$C = (-t/\tau), \quad (1)$$

где t – текущее время; τ – среднее время пребывания, а представляет собой, так называемую, кривую отклика, которая описывается уравнением [3]

$$C = \frac{1}{2\beta - 1} \left[\exp\left(-\frac{\theta}{\beta}\right) - \exp\left(-\frac{\theta}{(1-\beta)}\right) \right], \quad (2)$$

где $\beta = \frac{1 + \sqrt{2\sigma^2 - 1}}{2}$; σ^2 – дисперсия кривой отклика, $\sigma^2 > 0,5$, рассчитываемая по формуле

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} c(1-\theta)^2 d\theta$$

или в размерном виде

$$\sigma^2 = \frac{\int_0^{\infty} C_u t^2 dt}{\left(\int_0^{\infty} C_u dt\right)^2} \tau^2 - 1.$$

При $\sigma^2 = 1$, при $\beta = 1$ формула (2) для реального перемешивания переходит в формулу (1) для идеального перемешивания.

На рис. 1 приведен график зависимости относительной концентрации частиц от среднего времени пребывания при различной структуре потоков во флотационном аппарате.

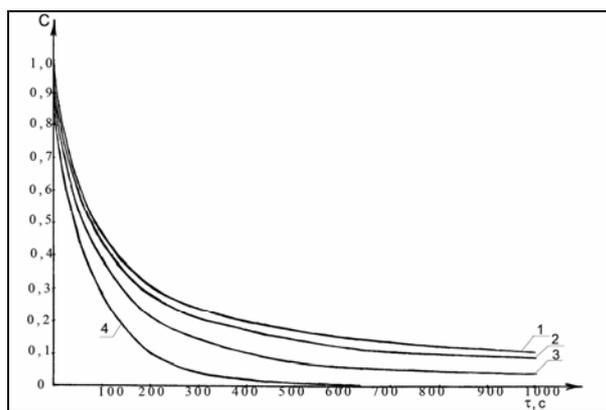


Рис. 1. Зависимость относительной концентрации частиц от среднего времени пребывания во флотационном аппарате при: $d_r = 3,5 \cdot 10^{-5}$ м; $d_n = 3,0 \cdot 10^{-5}$ м; $c_{r0} = 0,01$; $c_{m0} = 0,015$ и константе флотации $\kappa = 1$:

1 – идеальное смешение на макроуровне [формулы (1) и (3)], 2 – идеальное смешение на микроуровне; 3 – реальное смешение при $\beta = 0,75$ [формулы (3) и (2)]; 4 – идеальное вытеснение (приводиться для сравнения)

Расчеты проводились по известным формулам для аппаратов реального смешения [4] при $\beta = 0,75$ на макроуровне

$$C = \int_0^{\infty} C c_r d\theta / c_{r0}, \quad (3)$$

$$C = \frac{\left[\frac{c_{n0}}{c_{r0}} - \left(\frac{d_n}{d_r} \right)^3 \right] \exp\left\{ - \left[\frac{c_{n0}}{c_{r0}} - \left(\frac{d_n}{d_r} \right)^3 \right] \kappa c_{r0} \tau \theta \right\}}{\frac{c_{n0}}{c_{r0}} - \left(\frac{d_n}{d_r} \right)^3 \exp\left\{ - \left[\frac{c_{n0}}{c_{r0}} - \left(\frac{d_n}{d_r} \right)^3 \right] \kappa c_{r0} \tau \theta \right\}},$$

интегральная кинетическая зависимость концентрации частиц от времени, полученная после интегрирования дифференциального кинетического уравнения флотации и электрофлотации [5]

$$W = -k \cdot c_r \cdot c_n \quad (4)$$

при условии монофлотации

$$c_{r0} - c_r = \left(\frac{d_r}{d_n} \right)^3 (c_{n0} - c_n) \quad (5)$$

и начальном условии $t = 0$ или $\theta = 0$, $c_r = c_{r0}$ или $c = 1$.

Для сравнения здесь же приведены графики для идеального смешения на микроуровне с математической моделью

$$c = -a + \sqrt{\left(\frac{a}{2} \right)^2 + b}, \quad (6)$$

$$\text{где } a = b + \left(\frac{c_{n0}}{c_{r0}} \right) \left(\frac{d_r}{d_n} \right)^3 - 1, \quad b = \frac{1}{\kappa c_{r0} \tau \left(\frac{d_n}{d_r} \right)^3},$$

полученной из математической модели реактора идеального смешения на микроуровне

$$\tau = \frac{c_{r0} - c_r}{W} \text{ с учетом (4) и (5); и для идеального}$$

вытеснения с математической моделью

$$C = \frac{\left[\frac{c_{n0}}{c_{r0}} - \left(\frac{d_n}{d_r} \right)^3 \right] \exp\left\{ - \left[\frac{c_{n0}}{c_{r0}} - \left(\frac{d_n}{d_r} \right)^3 \right] \cdot \kappa \cdot c_{r0} \cdot \tau \right\}}{\frac{c_{n0}}{c_{r0}} - \left(\frac{d_n}{d_r} \right)^3 \exp\left\{ - \left[\frac{c_{n0}}{c_{r0}} - \left(\frac{d_n}{d_r} \right)^3 \right] \cdot \kappa \cdot c_{r0} \cdot \tau \right\}}, \quad (7)$$

полученной после интегрирования уравнения (4) с учетом формулы (5) и начального условия $\tau = 0$, $c_r = c_{r0}$.

Как видно из графика, относительная концентрация частиц во флотаторах реального смешения (кривая 3) занимает промежуточное положение между относительными концентра-

циями идеальных структур потоков: смешения (кривые 1 и 2) и вытеснения (кривая 4).

На рис. 2 приведена зависимость относительной концентрации частиц во флотаторах реальной концентрации от коэффициента β при среднем времени пребывания $\tau = 1000$ с и параметрах $k = 1$; $c_{r0} = 0,015$; $d_n = 3 \cdot 10^{-5}$; $d_r = 3,5 \cdot 10^{-5}$.

Как видно из графика (рис. 2), уход от идеального смешения на макроуровне способствует увеличению степени улавливания частиц, а при требуемой степени улавливания уменьшает необходимый объем флотационной камеры.

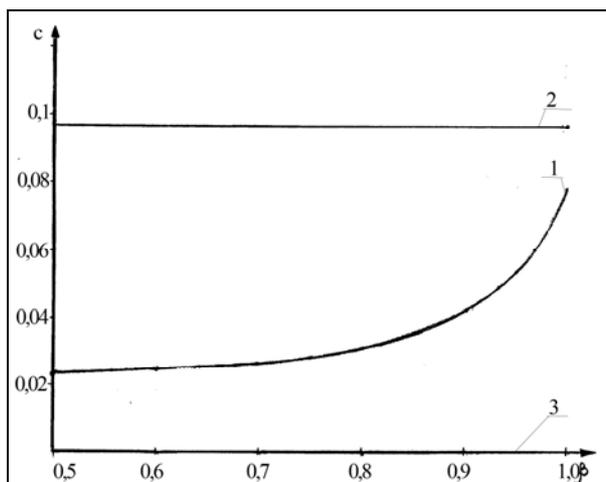


Рис. 2. Зависимость относительной конечной концентрации частиц во флотационной камере от коэффициента β со структурой потока реальной концентрации на макроуровне, формула (2 и 3) – кривая 1; линия 2 соответствует аппарату идеального смешения на микроуровне (формула 2); линия 3 соответствует аппарату идеального вытеснения $c = 0,0001$ (формула 7)

Это позволяет предложить, что как и для химических реакторов, переход от больших по объему аппаратов, целесообразно перейти к каскаду флотаторов или электрофлотаторов малого объема, установленных последовательно.

Результаты зависимости относительной концентрации частиц от числа флотационных камер в каскаде при одинаковом общем среднем времени пребывания $\tau = 500$ с приведены в таблице ($k = 1$; $c_{r0} = 0,01$; $c_{n0} = 0,015$; $d_n = 3 \cdot 10^{-5}$; $d_r = 3,5 \cdot 10^{-5}$). Расчеты проводились по формулам 2 и 3.

Таблица

Зависимость степени очистки от числа флотаторов идеального смешения на макроуровне

| Число аппаратов в каскаде | 1 | 2 | 3 | Идеальное вытеснение |
|---------------------------|-------|-------|-------|----------------------|
| Степень очистки | 0,856 | 0,947 | 0,976 | 0,9925 |

Как видно из таблицы, уже при трех флотационных камерах идеального смешения на макроуровне в каскаде степень очистки суспензии или эмульсии увеличивается с 0,856 до 0,976, т. е. на 12 %. Для достижения той же степени очистки в одном аппарате потребуются аппарат со средним временем пребывания $\tau = 3000$ с или в 6 раз больший, чем суммарное время 3-х аппаратов в каскаде.

Установка электрофлотаторов в каскад тем более целесообразна, что электродные модули, устанавливаемые на дне, будут потреблять в 6 раз меньше электроэнергии для электролиза воды и, соответственно, требует меньших по мощности и размерам, а значит и по стоимости генераторов или выпрямителей постоянного тока, которыми проще снабжать небольшие по размерам электрофлотационные камеры, установленные последовательно в каскад.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матов Б. М. Электрофлотация. Кишинев: Карта молдовеняскэ, 1971. – 184 с.
2. Мамаков А. А. Современное состояние и перспективы применения электролитической флотации веществ. Кишинев: Штинца. – 250 с.
3. Голованчиков А. Б., Тябин Н. В., Дахина Г. Л. Электрофлотационные процессы и аппараты химической технологии. Учебное пособие. Волгоград: Волгоградский технический институт. – 97 с.
4. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М.: Химия, 1976. – 463 с.
5. Левентиль О. Инженерное оформление химических процессов. М.: Химия, 1969. – 624 с.
6. Закгейм А. Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. М.: Химия, 1973. – 272 с.
7. Цыпкин А. Г., Цыпкин Г. Г. Математические формулы. М.: Наука, 1985. – 127 с.

УДК 519.6

А. В. Дмитренко, А. В. Черняев
**МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
 ДЛЯ АНАЛИЗА ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗЛИВОВ НЕФТИ ИЗ ТРУБОПРОВОДОВ**

"МАТИ" – Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского
 (alex_v_ch@mail.ru)

В статье описывается модель интеллектуальной системы для анализа последствий разливов нефти из нефтепроводов, основанная на виртуальной экспертной системе.

Ключевые слова: моделирование, разливы нефти, нефтепроводы.

A. V. Dmitrenko, A. V. Chernyaev
**BASED ON VIRTUAL EXPERT SYSTEM, INTELLIGENCE SYSTEM MODEL
 FOR OIL SPILLAGE EFFECTS ANALYSIS**

This paper describes based on virtual expert system, intelligence system model for analysis of effects of oil spillage from oil pipelines. Simulation, oil spillage, oil pipelines.

Важность современных задач обеспечения экологической и производственной безопасности, в частности безопасности трубопроводов, требует интенсивного развития прикладных информационных систем [1]. При этом одним из наиболее перспективных направлений развития является разработка и внедрение интеллектуальных систем, например, прикладных экспертных систем. Задача оптимального построения таких систем является сложной, неоднозначной и носящей ярко выраженный предметно-ориентированный характер. Решение подобной задачи требует проведения всестороннего моделирования как самих аварийных процессов, так и структур информационной поддержки процессов принятия решений в сферах экологического мониторинга и техногенной безопасности. В настоящей работе рассматривается модель интеллектуальной системы, основанная на использовании систем, основанных на знаниях и специальных экспертных систем.

Главной проблемой при авариях нефтепроводов является уменьшение экологического ущерба, вызванного возможными разливами нефти. Чрезвычайные ситуации при аварийных разливах нефти на магистральных нефтепроводах связаны преимущественно с ущербом окружающей природной среде (ОПС) и обусловлены отказами сооружений, объектов или линейной части магистральных нефтепроводов. При этом окружающая природная среда представляется в виде системы, состоящей из трех основных компонентов: земель, водных объектов и атмосферы.

Система оценок при аварийных разливах включает:

- расчет общего объема (массы) нефти, вылившейся при аварии из нефтепровода, и массу нефти, загрязнившей компоненты окружающей природной среды;

- расчеты площадей загрязненных нефтью земель (почв) и водных объектов;

- определение размеров ущерба, полученного в результате загрязнения нефтью каждого компонента окружающей природной среды и общую сумму платы за загрязнение ОПС.

Масса нефти, загрязняющей водные объекты, определяется суммированием массы растворенной и эмульгированной в воде нефти, значение которой соответствует предельной концентрации, и массы пленочной нефти на поверхности водного объекта.

Основными факторами, определяющими величину ущерба, наносимого окружающей природной среде при авариях на нефтепроводах, являются:

- количество вылившейся из нефтепровода нефти и распределение ее по компонентам окружающей среды;

- площадь и степень загрязнения земель;

- площадь и степень загрязнения водных объектов;

- количество углеводородов, выделившихся в атмосферу.

Расчет количества нефти, вылившейся из нефтепровода, производится в три этапа, определяемых разными режимами истечения:

- истечение нефти с момента повреждения до остановки перекачки;

- истечение нефти из нефтепровода с момента остановки перекачки до закрытия задвижек;

- истечение нефти из нефтепровода с момента закрытия задвижек до прекращения утечки.

Площадь дефектного отверстия определяется в зависимости от формы разрыва стенки нефтепровода.

Площадь нефтяного загрязнения земель и водных объектов может быть определена:

- методом экспертных оценок;

- инструментальным методом;

- методом аэрофотосъемки.

Для расчета всех вышеперечисленных характеристик используются различные методы. Это относится как к расчетным соотношениям,

так и вычислительным методам. Поэтому выбор оптимального метода расчета является неоднозначной и достаточно сложной задачей, не имеющей универсального решения. Автоматизация процедур такого выбора тоже должна учитываться при построении систем поддержки процессов принятия решений для анализа последствий разливов нефти.

Общая схема предлагаемого процесса функционирования такой информационной системы показана на рис. 1. От традиционной структуры она отличается тем, что включают в себя в явном виде систему баз знаний и блоки математического моделирования. Это вызвано тем, что сложность решения задачи построения действительно интеллектуальных систем поддержки процессов принятия решений в сфере экологического мониторинга требует использования систем знаний и методов комплексного математического моделирования. Предлагается следующая структура построения интеллектуальной системы для обработки экологических данных в системах информационного обеспечения процессов экологического мониторинга (рис. 2). Система предполагает получение и согласование экспертных и "машинных" знаний. Последние получают путем фильтрации исходных экспериментальных данных, их первичной обработки и дополнения результатами вычислительных экспериментов, с последующим извлечением знаний с примени-

ем методов интеллектуально анализа данных (ИАД или Data Mining) или специальных экспертных систем. В последнем случае извлечение знаний проводится с помощью специальной экспертной системы. Более детально эти вопросы применительно к технологическим системам были рассмотрены нами ранее [2, 3].

В данной модели и ее программной реализации целесообразно использовать архитектуру системы, основанной на виртуальной экспертной системе (ВЭС) [4]. В этом случае, в зависимости от характера формируемых знаний и ранее установленных требований, а также имеющейся правовой и нормативной документации, ВЭС выбирает наиболее адекватный набор методов и алгоритмов для извлечения знаний, их структурирования и формализации. Она же осуществляет внутреннее согласование данных, приведение их к одинаковым форматам и методам представления. Основные базовые принципы построения архитектуры предлагаемой ВЭС следующие:

- 1) для выбора тех или иных наборов правил и/или алгоритмов используются встроенные динамические ЭС;
- 2) для выбора актуального на данном этапе комплекса правил, методов, алгоритмов и программ применяются различные методы автоматизированного принятия решений, в частности метода динамических приоритетов и таблиц [5].

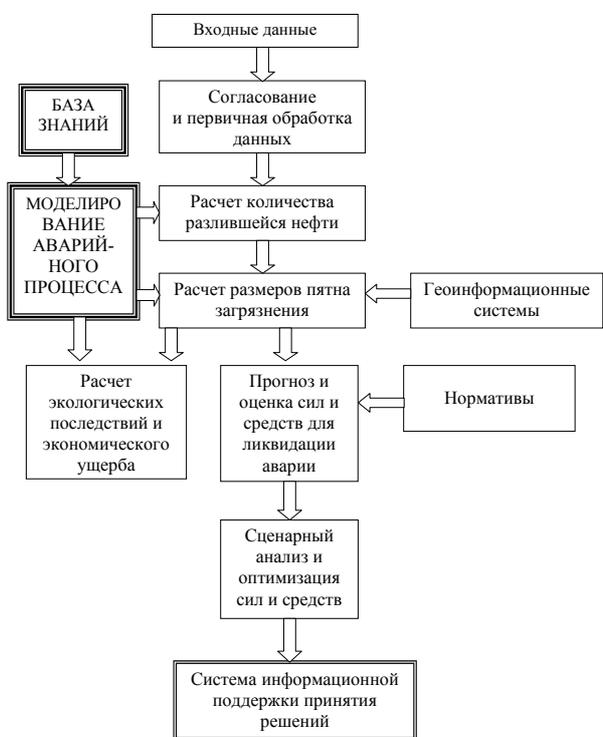


Рис. 1. Структура процесса информационного анализа последствий аварийных разливов нефти

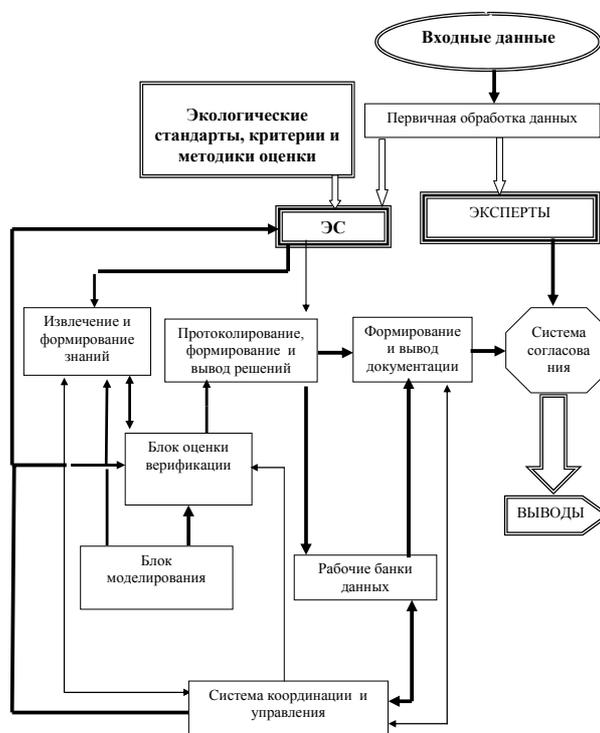


Рис. 2. Структура интеллектуальной системы обработки экологических данных:

информационная: → и управляющая: →→ связь

Блок математического моделирования предназначен для выражения в количественном виде полученных решений. Данный блок представляет собой набор математических моделей аварийных процессов (дополненный, по возможности, данными конструкторской и технологической документации нефтепровода выполненными в соответствии с ИПИ (CALS) стандартами. Связанный с блоком согласования и верификации, блок математического моделирования позволяет уточнять полученные решения, осуществлять их проверку и корректировку. В качестве моделей могут использоваться различные модели процессов и сценарные модели анализа последствий аварий. В последнее время часто используются имитационные модели, в том числе и полученные с помощью методов искусственного интеллекта.

Система согласования предназначена для согласования "машинных" данных и знаний и знаний, получаемых от экспертов. В результате использования методов отбора знаний от экспертов получают некий набор информации, который должен быть согласован с имеющимися данными и знаниями в Базе Знаний (БЗ). Система согласования и выполняет данную функцию. Ее работа основана на следующем принципе: полученная от эксперта информация сравнивается с информацией в БЗ. В случае различия используются методы нечеткой логики для устранения противоречия: а именно – вычисления с использованием факторов (коэффициентов) уверенности, предназначенных для измерения степени значимости данной информации.

Ясно, что поддержание целостности и устойчивости системы, ее оптимизация, устранение избыточности данных и т. д. являются самостоятельными и сложными задачами. Особенно важной представляется проблема согла-

сования получаемых знаний, их верификация, объяснение в доступной форме методологии получения решений, а также мониторинг функционирования системы и формирование блоков вывода и протоколирования. Необходимым представляется включение в систему развитых средств моделирования, т. к. формируемые базы знаний представляют собой по сути базы моделей. Не следует забывать и о необходимости разработки соответствующих интерфейсов и прикладного программного обеспечения.

Развитие и реализация предложенных принципов построения структур информационной поддержки систем поддержки процессов принятия решений при анализе последствий разливов нефти позволит повысить экологическую безопасность эксплуатации нефтепроводов и усовершенствовать процессы их проектирования и мониторинга.

Авторы благодарны Департаменту промышленности и науки Правительства г. Москвы за поддержку проводимых исследований (в рамках темы № 199 ц)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ИСО 14004:2004. Системы экологического менеджмента.
2. Черняев А. В. Особенности построения систем знаний в области сложных технологических процессов. Конструкторско-технологическая информатика – 2000: труды конгресса. – М., т. 2. – С. 254–256.
3. Черняев А. В., Веденин К. В. Особенности построения экспертных систем в области производства МЭА. Электронная техника сер 3. Микроэлектроника, 1998. – С. 17–21.
4. Дмитренко А. В., Черняев А. В. Особенности построения систем знаний для автоматизации экологического мониторинга. Труды второй Межд. НТК "Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов", Тольятти, 2005. – С. 288–291
5. Черняев А. В., Веденин С. Г. Применение метода динамических приоритетов в структуре экспертных систем в области экологической безопасности. Вестник БГТУ им В.Г. Шухова 2004, № 8. – С. 68–69.

УДК 519.876.5

Е. С. Кузнецова

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ДВУХУРОВНЕВОЙ АСУ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ СУХОГО ПОМОЛА ЦЕМЕНТА

Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ (cad@vstu.ru)

В статье приведены оценки показателей надежности автоматизированной системы управления производством на примере имитационной модели двухуровневой АСУ шаровой мельницы сухого помола цемента.

Ключевые слова: помол цемента, автоматизация процесса, имитационная модель.

E. S. Kuznetsova

RESEARCH OF MODEL OF THE TWO-LEVEL AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF A SPHERICAL MILL OF A DRY GRINDING OF CEMENT

In clause estimations of parameters of reliability of the automated control system by manufacture on an example of imitating model of the two-level automated control system of a spherical mill of a dry grinding of cement are resulted.

Grinding of cement, automation of process, imitating model.

В статье приведены оценки показателей надежности автоматизированной системы управ-

ления производством на примере имитационной модели двухуровневой АСУ шаровой

мельницы сухого помола цемента. Шаровая мельница сухого помола цемента (рис. 1) представляет собой горизонтальный вращающийся барабан диаметром 2,4 м и длиной 14 м, разделенный на 3 камеры ячеистыми перегородками, препятствующими смешиванию шаров, но не мешающими продвижению цемента.

Барабан мельницы заполняется примерно на 1/3 его объема мелющими телами (чугунными или стальными шарами диаметром 40–130 мм, либо стальными цилиндриками) и измельчаемым материалом (клинкер, гипс и добавки). При вращении барабана мелющие тела благодаря силе трения, возникающей под действием центробежных сил, поднимаются по стенкам барабана на некоторую высоту. Достигнув высоты, на которой силы веса преодолевают центробежные силы и вызванные ими силы трения, мелющие тела падают вниз и при ударах измельчают загруженный в мельницу материал.

Первая камера осуществляет грубый помол с помощью крупных шаров диаметром 60 см, камера 2 – средний помол, диаметр шаров 35 см, камера 3 – тонкий помол, диаметр шаров 20 см.

При наиболее выгодной скорости вращения мельницы, мелющие тела проходят часть пути прижатыми центробежной силой к футеровке мельницы, а, дойдя до некоторой точки, отрываются и каскадом падают вниз, двигаясь под углом к горизонту. В этом случае помол наиболее эффективен, материал измельчается ударом, а при перекачивании шаров также истиранием.

Если число оборотов мельницы недостаточно, то центробежные силы оказываются настолько малыми, что мелющие тела падают с незначительной высоты, в этом случае клинкер размалывается очень медленно. При слишком большой скорости вращения мельницы центробежные силы могут оказаться настолько значительными, что силы веса не смогут их преодолеть; тогда шары не будут падать и измельчать материал.

Технологический режим помола существенно зависит от состояния, количества и ассортимента мелющих тел. Скорость вращения барабана обычно около 2 об/мин. Исходный материал из бункеров питателями подается в мельницу.

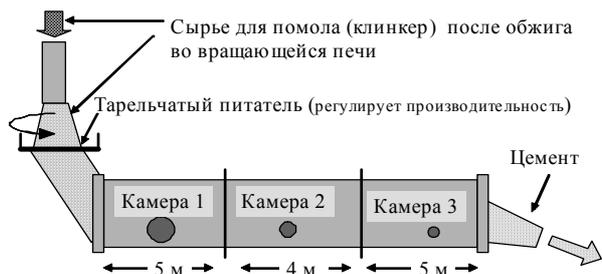


Рис. 1. Шаровая мельница

Проходя через все камеры, материал измельчается и превращается в готовый продукт – цемент. Качество работы измельчительных агрегатов характеризуется тонкостью помола, а также точностью поддержания заданных соотношений компонентов (клинкера, гипса, добавок). Допустимая тонкость устанавливается ГОСТом. Качество цемента и его марка (а, следовательно, и отпускная цена) определяются активностью цемента.

Номинальная производительность мельницы 26 тонн/час.

Технологический процесс непрерывный, и существенное значение имеет управление в стационарном режиме. Поэтому для управления целесообразно использовать стационарные алгоритмы.

По ГОСТ тонкость помола не должна превышать допустимой 13,2 %. При существующем способе автоматизации для обеспечения такой нормы приходится устанавливать расход сырья, при котором средняя тонкость равна 10 %. Данное среднее значение обеспечивается только при снижении производительности мельницы на 20 % по сравнению с номинальной.

При снижении среднеквадратического отклонения тонкости помола в 6 раз за счет автоматизации, удастся обеспечить гарантию качества (тонкость не выше 13,2 %) при средней тонкости 12 %, что соответствует увеличению производительности мельницы с 21 до номинала 26 тонн/час.

В отличие от ручного управления, в автоматизированном объекте можно обеспечить гарантию соблюдения технологического ограничения на тонкость помола, при большей производительности мельницы.

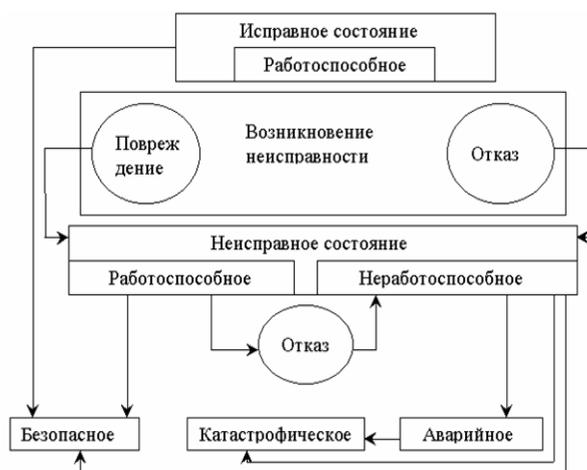


Рис. 2. Схема возникновения опасных и безопасных состояний системы

Автоматическое управление осуществляется с помощью контроля (измерения) показаний датчика и формирования такого входного воздействия – подачи клинкера, которое обеспечит требуемый режим работы объекта регулирования – мельницы.

Рис. 3 отображает результат настройки на тонкость, равную 12,2 %. При таком значении тонкости производительность мельницы равна 25 т/час.

Качество процесса регулирования определяется по отклонению тонкости помола на выходе мельницы от заданной.

Важным шагом в изучении системы является установление зависимостей между введенными параметрами.

Проведенные исследования по изменению производительности мельницы в зависимости от тонкости помола на выходе мельницы позволяют сделать вывод о существовании линейной зависимости между этими величинами. Данная зависимость позволяет управлять мельницей таким образом, чтобы "требовать" такую тонкость, которая соответствует необходимой производительности, и наоборот. Рис. 4 иллюстрирует данную зависимость. Задающее воздействие определяется на верхнем (цеховом) уровне АСУТП.

При ручном управлении процессом помола цемента в шаровой мельнице при постоянном расходе сырья имеют место колебания тонкости помола.

Как показывает рис. 5, в этом случае, чтобы гарантировать тонкость помола не выше допустимой по ГОСТ (13,2 %, на рис. 5 – жирный пунктир), приходится устанавливать расход сырья, при котором средняя тонкость равна 10 % (на рис. 5 – тонкий пунктир). Данное среднее значение обеспечивается только при снижении производительности мельницы на 20 % по сравнению с номинальной. Как показывает рис. 5, среднее квадратическое отклонение тонкости помола составляет примерно 1,2 %.

За счет автоматизации достигается увеличение производительности мельницы при условии гарантии тонкости помола не выше допустимой по ГОСТ – 13,2 % при средней тонкости 12 %. Это соответствует увеличению производительности мельницы с 21 до 25 тонн/час.

Моделируются процесс со средним временем безотказной работы для простых аварий $T_1 = 100$ часов и для сложных аварий $T_2 = 1000$ часов при разных дисциплинах обслуживания.

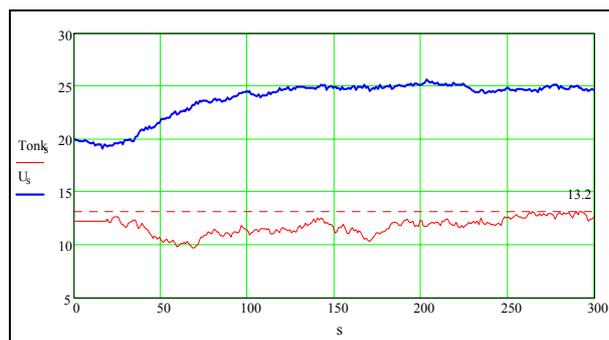


Рис. 3. График изменения подачи клинкера на помол и тонкости помола на выходе мельницы при изменении задания необходимой тонкости

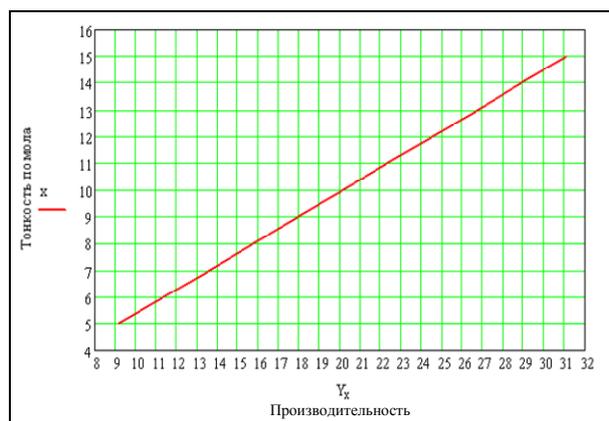


Рис. 4. График зависимости тонкости помола цемента на выходе от производительности

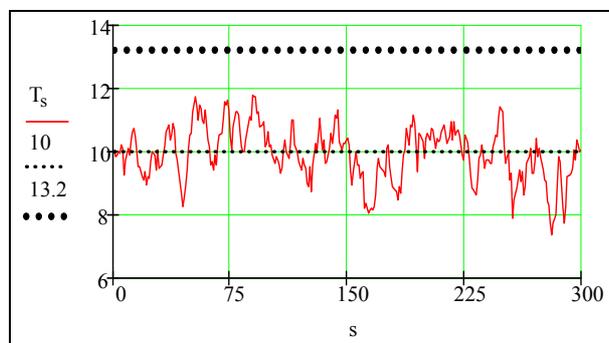


Рис. 5. Колебания тонкости помола при постоянном расходе сырья

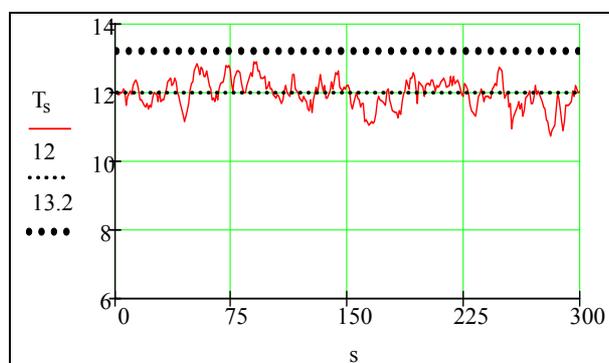


Рис. 6. Колебания тонкости помола при постоянном расходе сырья (если процесс будет автоматизирован)

Все выходные данные, за исключением графиков, меняются в реальном времени.

Разработана методика оценки уровня технико-экономических показателей по автоматизации с учетом системной надежности.

При исследовании функционирования виртуальных комплексов появляется возможность оценить влияние показателей надежности средств управления и дисциплины обслуживания системы на технико-экономических показателях (ТЭП) автоматизированного объекта. Особенности конкретных объектов учитываются укрупнено, путем заполнения таблицы изменения ТЭП при отказах каждого из элементов технической структуры АСУ и всех возможных сочетаний этих элементов. Базой для сравнения являются ТЭП, достигнутые на объекте до внедрения АСУ (сбор этих данных согласно технологии проектирования АСУ производится на этапе разработки технического задания (ТЗ) на проектирование системы). Особенности технических средств также учитываются укрупнено, только на уровне показателей надежности. Особенности функционирования АСУ учитываются на уровне показателей технического обслуживания, влияющих на время восстановления работоспособности системы.

При моделировании системы автоматического управления (САУ) технологическим процессом в качестве показателей надежности используем интенсивность отказов и среднее время восстановления.

При безотказной работе всех элементов системы располагаемая производительность равна номинальной.

При отказах отдельных элементов производительность может уменьшаться или становиться равной производительности ручного режима (пока работает САУ, производительность мельницы равна 25 т/час, когда авария и простой САУ – 20 т/час). Отказавшие элементы восста-

навливаются и через некоторое время вступают в строй [21, стр. 73].

Считаются экономические потери от ненадежности работы технических средств в контуре автоматизации. Затем считаются затраты на поддержание работоспособности САУ: продолжительность бесперебойной работы и время восстановления. Данное время обозначается функцией затрат на службу АСУ. Получается способ оптимизации уровня системной надежности: (выигрыш от увеличения времени работы на 25 т/час) – (проигрыш на оплате службы АСУ) $\rightarrow \max$.

Каждая из стратегий характеризуется средней длительностью простоя канала связи \bar{T}_{Π} , которая в определенной степени зависит от порога сдачи отказавшего канала на обслуживание ($t_{сд}$) и предельного времени устранения нарушения B^* . Для указанных стратегий обслуживания известно что существует оптимальное время сдачи неисправного канала $t_{сд,оп}$, при котором показатель \bar{T}_{Π} имеет минимальное значение, зависящее от параметра B^* , причем чем больше B^* , тем больше $t_{сд,оп}$. На практике при использовании первой стратегии обслуживания $t_{сд,оп} = 3..5$ мин, для второй $t_{сд,оп} = (0,3..0,5) B^*$ мин. При этом среднее время простоя канала существенно зависит от распределения весов отказов первого p_1 и второго p_2 типов (при $p_1 = 0,9$ $t_{сд,оп} \approx 150..200$ с) и принятого критерия отказа канала t_* , который оказывает влияние также и на другие характеристики надежности, например, на среднее время наработки на отказ $T_{от}$, на среднее время восстановления $T_{в}$ и коэффициент готовности канала K_2 .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Живоглядов В. П. Адаптация в автоматизированных системах управления технологическими процессами. – Фрунзе. Илим 1974.
2. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных систем. – М. Энергия 1977.

УДК 004.75

*И. В. Степанченко, В. Г. Семенов, В. В. Сургутанов***РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА АДАПТАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ****Камышинский технологический институт (филиал)****Волгоградского государственного технического университета (stilvi@mail.ru)**

В работе представлены результаты исследований реализации генетического алгоритма в распределенной вычислительной среде, заключающиеся в определении области применимости такого алгоритма для настройки ПИД-регулятора. Дана структура разработанной распределенной вычислительной системы. Приводится описание поискового алгоритма адаптации параметров регулятора, функционирующего в распределенной вычислительной системе. Представлены результаты некоторых вычислительных экспериментов и рекомендации по использованию распределенных вычислительных структур.

Ключевые слова: Распределенная вычислительная система, удаленный вызов методов, технологии Jini и JavaSpaces, параллельные вычисления, генетический алгоритм, адаптивный алгоритм прямого поиска, распределенная совместно используемая память, решающий сервис, вычислительный сервис, тестовые задачи.

*I. V. Stepanchenko, V. G. Semenov, V. V. Surgutanov***IMPLEMENTATION OF THE GENETIC ADAPTATION ALGORITHM OF REGULATOR PARAMETERS IN THE DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEM**

The paper presents research results of implementation of the genetic algorithm in the distributed computing environment. Tasks of such algorithm applicability consisting in definition for tuning PID-regulator are presented. The structure of the distributed computing system is presented. The genetic algorithm of a search by using the distributed computing system is considered. The estimation method of distributed computing systems parameters is suggested. The few results of numerical experiments are included to illustrate the features of the developed approach and recommendations of the distributed structures using are presented.

Distributed computing system, Java platform, remote method invocation, Jini and JavaSpaces specifications, parallel computing, genetic algorithm, adaptive direct search algorithm, distributed shared memory, decisive service, computing service, estimation tasks.

В данной работе рассматривается класс *самонастраивающихся* систем (СНС) [1], в которых структура регулятора задана (заранее выбрана), требуется определить лишь алгоритм настройки его коэффициентов (алгоритм адаптации). В качестве алгоритма адаптации используется поисковый алгоритм, который включается в структуру регулятора (в данной работе ПИД-регулятора).

Отметим, что включение контура адаптации в структуру ПИД-регулятора не является бесспорно полезным, если учесть вносимое ими запаздывание. Казалось бы, включение такого контура в структуру ПИД-регулятора должно привести к получению алгоритмов имеющих гораздо лучшие значения показателей качества управления, но поисковые алгоритмы адаптации являются настолько вычислительно емкими, что они могут внести слишком большое информационное запаздывание, из-за которого не только будет утеряно преимущество адаптации, но и ухудшится качество, достижимое ПИД-регулятором без адаптации [2]. Поэтому возникает задача ускорения работы поискового алгоритма.

Из возможных алгоритмов адаптации выбран *генетический алгоритм* (ГА) [3, 4], поскольку он допускает эффективное распараллеливание (достаточно распределить между элементами распределенной вычислительной системы непересекающиеся подмножества значений настраиваемых параметров) и с его по-

мощью можно находить глобальный экстремум функции v -независимых переменных. Проведем соотнесение физического смысла биологических терминов, которыми традиционно оперируют ГА с терминами теории управления: *популяция* – совокупность параметров регулятора; *индивидуум популяции* – параметр регулятора; *хромосома* – значение параметра регулятора; *естественный отбор* – выбор наилучшего значения функции; *поколение* – итерация расчетов; *генетические операторы* (*мутация, кроссовер, инверсия*), *рекомбинация хромосом* – процессы формирования новых значений параметров регулятора, *функция пригодности* – целевая функция, у которой ищется экстремум.

Сущность работы ГА заключается в следующем:

выбирается произвольная точка начального приближения $m^{(0)}$ целевой функции $f(m)$ векторного аргумента $m = [m_1, m_2, \dots, m_n]^T$;

процесс поиска экстремума организуется как итеративный.

Каждый d -й шаг итеративного процесса представляет собой следующие действия:

определяется значение целевой функции, если достигнуто требуемое значение, то процесс останавливается;

формируется новая совокупность параметров регулятора, путем выбора наилучших значений, состоящая из h значений наборов параметров (существуют варианты ГА с постоянным и переменным числом h);

в новой совокупности группируются значения параметров регулятора (обычно выбираются комбинации по два значения для применения генетических операторов, в ГА это называется "панмиксией", хотя можно объединять и больше значений параметров);

к каждой группе параметров применяется последовательность генетических операторов (порядок и параметры которых являются настроечными в генетических алгоритмах): *кроссовер*, *мутация* и *инверсия* [3, 4].

Для повышения быстродействия управляющей системы с контуром адаптации, в котором реализован генетический алгоритм, применяются различные методы. В данной работе рассматривается один из них – распределение алгоритмов обработки информации и управления между элементами вычислительной системы.

Под *распределенной системой* в данной работе понимается система, в которой компоненты, располагаемые на соединенных посредством сети компьютерах, взаимодействуют и координируют свои действия только с помощью механизма передачи сообщений [5]. Такое определение ведет к следующим характеристикам распределенной системы: параллельность работы компонентов, отсутствие единого времени и независимые отказы компонентов.

В ходе выполнения работы была создана распределенная вычислительная система, которая состоит из пяти компонентов: распределенной совместно используемой памяти, клиентской программы, вычислительного сервиса, решающего сервиса, коммуникационного сервиса, причем число компонентов в конкретной системе и их физическое расположение в гетерогенной сети может быть различным. Компьютеры (или вычислительные устройства), на которых находятся компоненты, могут иметь различную конфигурацию технического и программного обеспечения, а также различные типы соединений с удаленными ресурсами.

Приведем краткое описание каждого компонента распределенной вычислительной системы для гетерогенной сети:

1. Распределенная совместно используемая память (РСИП) – это сервис, реализованный согласно спецификации технологий *Jini* [6] и *JavaSpaces* [7]. Основными функциями сервиса являются: принимать запросы, поступающие от вычислительных сервисов, обрабатывать их и возвращать результат.

2. Клиентская программа представляет собой Java-приложение, основной функцией ко-

торого является предоставление пользовательского интерфейса для задания настроечных параметров прикладной задачи. Это приложение принимает значения параметров, проверяет их на допустимость, после чего формирует компонент данных, описывающих задачу. Далее, клиентская программа передает этот компонент данных в РСИП через коммуникационный сервис, согласно спецификации семантики записи компонента. Дальнейшая функция клиентской программы сводится к ожиданию появления результата выполнения задачи в РСИП. После его извлечения клиентская программа отображает этот результат на экране – задача считается решенной.

3. Решающий сервис – это Java-приложение, которое посылает запрос системе РСИП на поиск компонента данных, описывающего задачу. В случае нахождения компонента система РСИП передает его решающему сервису. Задача этого сервиса – сформировать задания, являющиеся блоками, которые возможно распараллелить, и которые содержат данные, подлежащие обработке, и/или код, выполняющий обработку этих данных. Сформированные задания помещаются в РСИП. После этого решающий сервис собирает результаты решения сгенерированных им заданий, формирует общий результат решения задачи и помещает его в РСИП.

4. Вычислительный сервис – это Java-приложение, функцией которого является вычисление задачи, сформированной решающим сервисом. Он ждет появления задания в РСИП, извлекает его, производит необходимые вычисления и помещает результат вычислений обратно в РСИП.

5. Коммуникационный сервис – совокупность программных средств, предназначенных для соединения компонентов системы с РСИП, необходимость которого регламентируется неоднородностью архитектуры подсетей.

Последовательность работы основных компонент распределенного приложения показана на рис. 1.

В работе проводились две группы вычислительных экспериментов:

определение предельных вычислительных характеристик распределенной системы на специально разработанной абстрактной задаче;

оценка эффективности реализации алгоритма адаптации параметров ПИД-регулятора в процессе управления на базе распределенной вычислительной системы.

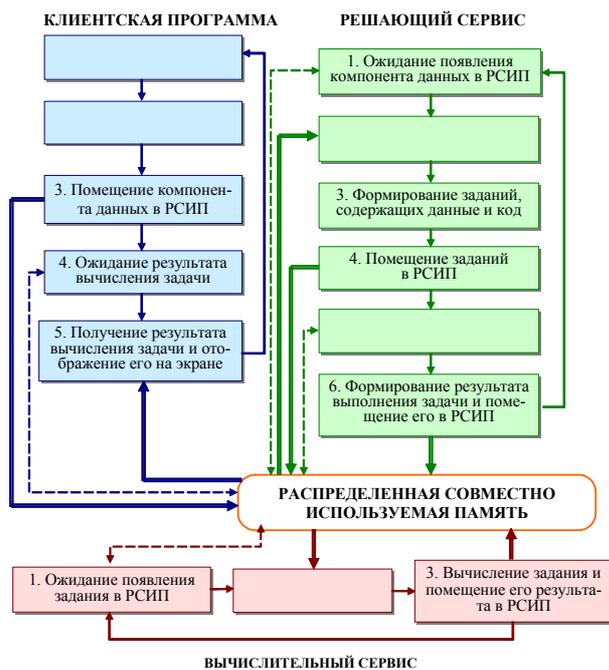


Рис. 1. Схема работы основных компонентов распределенного приложения

Вычислительные эксперименты проводились в локальной сети, объединяющей от двух до восьми персональных компьютеров, как в однородной среде, так и в гетерогенной. Номинальная загрузка трафика сети во время экспериментов не превышала 8 %.

Проводился эксперимент по выявлению тенденции в изменении производительности решения задачи настройки параметров регулятора генетическим алгоритмом за счет распределения его на несколько вычислительных ресурсов в зависимости от количества компьютеров.

Неизменяемые параметры задачи: параметры системы управления, количество итераций – поколений (параллельных блоков задачи) равно 10000. Варьируемые параметры задачи – количество вычислительных сервисов (каждый сервис выполнялся на отдельном компьютере).

В ходе выполнения эксперимента было выявлено (рис. 2): увеличение производительности вычислений при добавлении новых вычислительных сервисов (компьютеров) происходит не линейно, а по кривой с насыщением. Этот эффект объясняется тем, что необходимы затраты на передачу данных, на координацию вычислительных сервисов и организацию распределенной системы. Возможна ситуация, в которой решающий сервис не будет успевать собирать данные о решении подзадач и координировать раздачу новых подзадач.

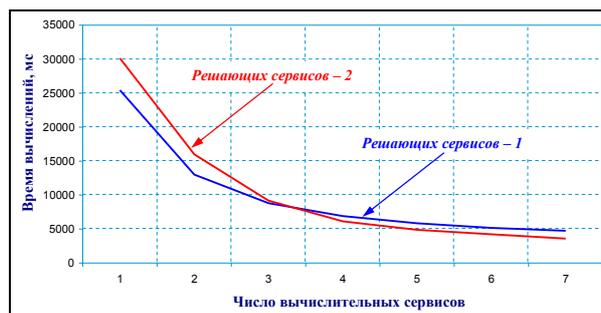


Рис. 2. Зависимость времени решения задачи от количества вычислительных сервисов (для сравнения, вычисление задачи на одном компьютере без распределенной системы составляет 22054 мс)

Примечание. На рис. 2 время вычислений является средним значением, относительная погрешность эксперимента не превышает 5 %.

Если же попытаться далее увеличивать количество решающих сервисов по отношению к количеству вычислительных сервисов, то можно обнаружить, что система будет наращивать производительность также непропорционально – сервис РСИП будет не успевать за количеством данных, передаваемых другими сервисами. Таким образом, приходится находить баланс между количеством всех сервисов.

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать следующие выводы. Выбор распределенного алгоритма настройки параметров определяется следующими параметрами и характеристиками:

- интервалом дискретизации, принятым в цифровой системе управления;
- параметрами технических средств реализации распределенной системы;
- количеством вычислительных, решающих и РСИП сервисов;
- количеством подзадач и объемом передаваемых данных;
- достижимым улучшением показателей качества и стоимостью разработки и внедрения распределенной системы.

Проведенные эксперименты показывают, что применение распределенной вычислительной системы достаточно эффективно для задач настройки параметров ПИД-регулятора, если используются свободные вычислительные ресурсы уже существующей вычислительной сети для систем управления с достаточно большим интервалом дискретизации, измеряемым минутами или часами. В этом случае, настройка помогает улучшить значения показателей качества на 5–10 %, особенно при сменах режима управления (задающего воздействия).

В заключение отметим, что в области использования распределенных систем имеются огромные резервы снижения стоимости и повышения качества управления сложными производственными комплексами. Можно ожидать быстрого расширения сферы использования распределенных вычислительных систем в качестве техники управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т. 3: Методы современной теории автоматического управления [Текст] / Под ред. Н. Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 748 с.

2. Крушель Е. Г. Программный комплекс для исследования цифровых систем управления с информационным запаздыванием [Текст] / Е. Г. Крушель, И. В. Степанченко // Датчики и системы. 2002. № 11. С.12–14.

3. Goldberg D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning [Текст] / D.E. Goldberg, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

4. Porter B. Genetic Tuning of Digital PID Controllers [Текст] / B. Porter, A. H. Jones / Electronics Letters. 1992. – Vol. 28. № 9. – P. 843–844.

5. Coulouris G. Distributed systems. Concepts and design [Текст] / G. Coulouris, J. Dollimore, T. Kindberg. 3-d edition. Pearson Education Limited, 2001. – 772 p.

6. Edwards W. K. Core Jini. [Текст] / Edwards W. K. 2-d edition. Sun Microsystems Press, 2001. – 1004 p.

7. Freeman E. JavaSpaces. Principles, patterns and practice [Текст] / E. Freeman, S. Hupfer, K. Arnold. Addison-Wesley Publishing Company, 2001. – 364 p.

УДК 621.892

Н. В. Федотова, Д. А. Кривошеин, В. П. Дмитренко
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТОЧНЫХ ВОД,
ЗАГРЯЗНЕННЫХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИМИ ЖИДКОСТЯМИ (СОЖ)

"МАТИ" – Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского (cad@vstu.ru)

Работа посвящена математической модели сточных вод, загрязненных смазочно-охлаждающими жидкостями.

Ключевые слова: математическое моделирование, смазочно-охлаждающие жидкости.

N. V. Fedotova, D. A. Krivoshein, V. P. Dmitrenko
DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF SEWAGE
WITH LUBRICANTING COOLING LIQUIDS

The paper is devoted to of the mathematical model of sewage with lubricanting cooling liquids.
Mathematical modeling, lubricanting cooling liquids.

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) применяются при обработке деталей на металлорежущих станках. При резании со смазкой и охлаждением достигается многократное увеличение стойкости режущих инструментов, улучшается чистота поверхности и повышается точность обрабатываемых деталей, уменьшаются силы резания и расходуемая мощность, обеспечивается надежное удаление стружки из зоны резания [1]. При реализации оборотной системы водоснабжения механических цехов предприятий производится очистка стоков от нерастворимых примесей, в том числе СОЖ. Основным методом очистки является седиментация, которая заключается в отстаивании капель СОЖ.

Одним из факторов, замедляющих движение капель СОЖ к поверхности воды при отстаивании, является вязкость стоков, которая в основном зависит от вида присутствующих составных частиц дисперсной фазы, а также разности плотностей дисперсной фазы и дисперсионной среды. Поэтому исследование вяз-

кости стоков играет важную роль при прогнозировании эффективности их очистки.

Целью настоящей работы явилась разработка математической модели вязкости стоков, загрязненных СОЖ.

Для исследования были выбраны два типа СОЖ: СОЖ-1 – "Купрол" и СОЖ-2 – "Медьсо-держущая присадка" [2, 3].

Их использовали в качестве моделей промышленных стоков, полученных путем смешения водопроводной воды и СОЖ в различной концентрации (%): 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100. Исследуемые стоки (эмульсии) готовили с использованием лопастной мешалки. Перемешивание проводили в течение 5 мин со скоростью 900 об/мин.

Кинематический коэффициент вязкости эмульсий измеряли при комнатной температуре с использованием вискозиметра ВПЖ-1 по методике [4]. Число параллельных опытов при измерении коэффициента кинематической вязкости составило 6. Ошибка эксперимента при измерении коэффициента вязко-

сти не превысила 2 %. Кинематический коэффициент вязкости пересчитывали в динамический по методике [5].

Исследование вопроса о вязкости коллоидных систем, к которым можно отнести рассматриваемый нами объект, обычно начинается с анализа работ А. Эйнштейна [6–8]. Он рассматривал вязкость жидкости, содержащей взвешенные мелкие твердые шарики. Полагая, что упругие шарики имеют малый диаметр по отношению к расстоянию между их центрами, но большой по сравнению с молекулярными размерами, А. Эйнштейн предложил следующее уравнение:

$$\mu' = \mu(1 + 2,5\varphi), \quad (1)$$

где μ' – вязкость суспензии; μ – вязкость дисперсионной среды и φ – отношение объема шариков к общему объему суспензии (объемная доля твердой фазы).

Следует отметить, что диаметр шариков не входит в уравнение (1).

Применение рассуждений А. Эйнштейна к эмульсиям затруднительно, т. к. истинные граничные условия у поверхности раздела фаз неизвестны, и капли дисперсной фазы могут подвергаться деформации под совместным влиянием вязких сил и поверхностного натяжения на границе раздела фаз.

Вопрос о вязкости эмульсий изучал Р. Тейлор [9]. Продолжая вычисления Эйнштейна, он допустил, что: а) радиус капелек настолько мал, что они всегда остаются шарообразными; б) скольжение на поверхности капелек равно нулю; в) усилие сдвига полностью передается от одной жидкости к другой. Р. Тейлор выводит следующее уравнение для эмульсий:

$$\mu' = \mu_g \left\{ 1 + 2,5\varphi \left(\frac{\mu_i + \frac{2}{5}\mu_g}{\mu_i + \mu_g} \right) \right\}, \quad (2)$$

где μ' – вязкость эмульсии; μ_i – вязкость дисперсной фазы, μ_g – вязкость дисперсионной среды, φ – отношение объема дисперсной фазы к общему объему эмульсии.

А. Левитон и А. Лейтон исследовали вязкость эмульсий, полученных при диспергировании жиров молока в обезжиренном концентрированном и разбавленном молоке, а также в очень вязком растворе сахарозы в обезжиренном молоке [10]. Авторы пытались эмпирически установить зависимость между вязкостью эмульсии и концентрацией дисперсной фазы,

в ней, а также составом дисперсионной среды. Они предложили следующее уравнение экспоненциального вида:

$$\ln \frac{\mu'}{\mu_g} = 2,5 \left(\frac{\mu_i + \frac{2}{5}\mu_g}{\mu_i + \mu_g} \right) \left(\varphi + \varphi^{\frac{5}{3}} + \varphi^{\frac{11}{3}} \right). \quad (3)$$

Величины вязкости эмульсий, рассчитанные по этому уравнению, хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Для малых значений φ это уравнение приводится к уравнению (2) Р. Тейлора независимо от состава или вязкости дисперсионной среды. Вычисленная по данному уравнению вязкость исследованных эмульсий в пределах ошибок опыта совпадает с экспериментальными данными при значениях φ от 0 до 1.

Структура уравнения (3) была использована нами при установлении зависимости вязкости эмульсий, состоящих из смазочно-охлаждающих жидкостей и воды, от объемной доли СОЖ.

Выводимое уравнение должно:

учитывать все физико-химические предпосылки (обоснования), лежащие в основе уравнений (1–3);

адекватно описывать экспериментальные данные во всем интервале значений φ (от 0 до 1), переходя при малых значениях φ в уравнение Тейлора;

с математической точки зрения уравнение должно представлять собой сплайн-функцию, которая наиболее удобна для интерполяции и других практических расчетов.

В работах А. Левитона и А. Лейтона [10] параметр, характеризующий влияние объема дисперсной фазы φ на вязкость эмульсии μ' , описывается полиномом и зависит от линейных размеров капелек, входящих в состав СОЖ. При этом линейный размер капелек пропорционален объему СОЖ в составе эмульсии в степени 1/3.

Согласно работам [6–10] искомая зависимость должна представлять собой степенной ряд. Для удобства представим его как полином

бесконечной степени вида $\sum_{i=0}^{\infty} a_i \cdot \varphi^{i/3}$ [11].

Исходя из того, что искомая зависимость при малых концентрациях должна переходить в формулу (2), коэффициент a_0 должен быть равен 1. Для упрощения зависимости выделим неизвестную полиномиальную часть, обозначив ее ψ :

$$\psi = 1 + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cdot \varphi^{i/3}, \quad (4)$$

где, $\psi = 1 + a_1 \cdot \varphi^{1/3} + a_2 \cdot \varphi^{2/3} + a_3 \cdot \varphi^{3/3}$. (5)

В выражении (4) a_i – коэффициент при соответствующем члене полинома, i – натуральное положительное число, которое принимает значение от 0 до ∞ .

По виду экспериментальных кривых установили зависимость экспоненциального вида, аналогично уравнению А. Левитона и А. Лейтона. В результате преобразований расчетное уравнение (3), с учетом наложенных ограничений принимает вид:

$$\mu = \mu_e \cdot e^{2,5 \left(\frac{\mu_e \cdot 0,4 + \mu_c}{\mu_e + \mu_c} \right) \cdot \varphi \cdot \psi} \quad (6)$$

где μ_e – динамический коэффициент вязкости воды, Па·с, μ_c – динамический коэффициент вязкости чистого СОЖ, Па·с.

Для того, чтобы определить вид полинома, преобразуем выражение (6):

$$\frac{\ln \frac{\mu}{\mu_e}}{2,5 \cdot \left(\frac{\mu_e \cdot 0,4 + \mu_c}{\mu_e + \mu_c} \right) \cdot \varphi} = \psi \quad (7)$$

где μ_s – динамический коэффициент вязкости эмульсий, измеренный при разных концентрациях СОЖ.

По результатам регрессионного анализа методом наименьших квадратов, проведенного с помощью программы "Sigma Plot 6.0" был выбран полином третьей степени [12]. Вид кривой, описываемый данным полиномом, представлен на рис. 1.

Ординаты экспериментальных точек на этих графиках определялись как среднее арифметическое из 6 измерений. Искомая зависимость, также построенная с помощью программы "Sigma Plot 6.0" представлена на рис. 2 и 3.

Коэффициенты полинома составили для СОЖ-1 $a_1 = 0,07$; $a_2 = 4,34$; $a_3 = 3,77$, для СОЖ-2 $a_1 = 0,61$, $a_2 = 5,72$ $a_3 = 4,69$.

При сравнении экспериментальных и расчетных данных (рис. 2 и 3) видно, что они практически совпадают для обеих модельных СОЖ.

Для СОЖ-1 уравнение имеет вид:

$$\mu_e \cdot e^{2,5 \left(\frac{\mu_e \cdot 0,4 + \mu_c}{\mu_e + \mu_c} \right) \cdot \varphi (1 + 0,07 \cdot \varphi^{1/3} - 4,34 \cdot \varphi^{2/3} + 3,77 \cdot \varphi^{3/3})} = \mu \quad (8)$$

$$\ln \frac{\mu}{\mu_e} = 2,5 \cdot \left(\frac{\mu_e \cdot 0,4 + \mu_c}{\mu_e + \mu_c} \right) \cdot \varphi \cdot \left(1 + 0,07 \cdot \varphi^{1/3} - 4,34 \cdot \varphi^{2/3} + 3,77 \cdot \varphi^{3/3} \right) \quad (9)$$

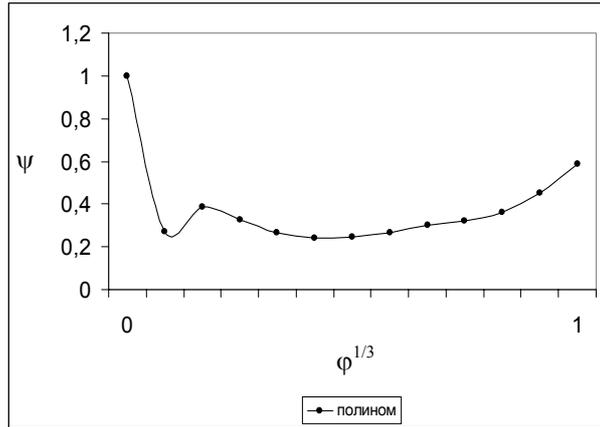


Рис. 1. Вид полиномиальной зависимости построенной по экспериментальным данным

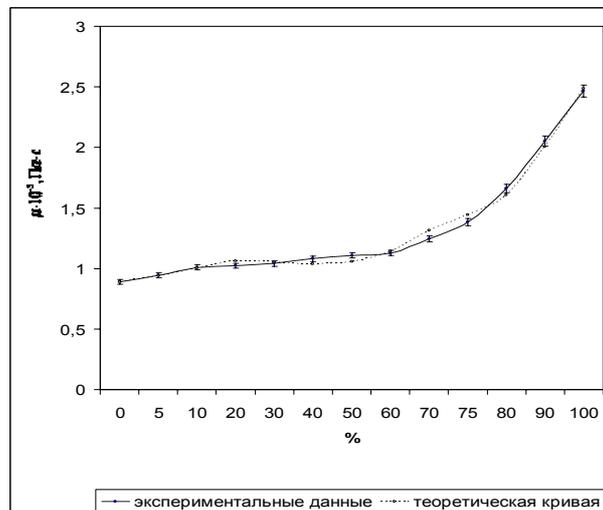


Рис. 2. Экспериментальные данные вязкости эмульсий на основе СОЖ-1 и рассчитанные по уравнению (8)

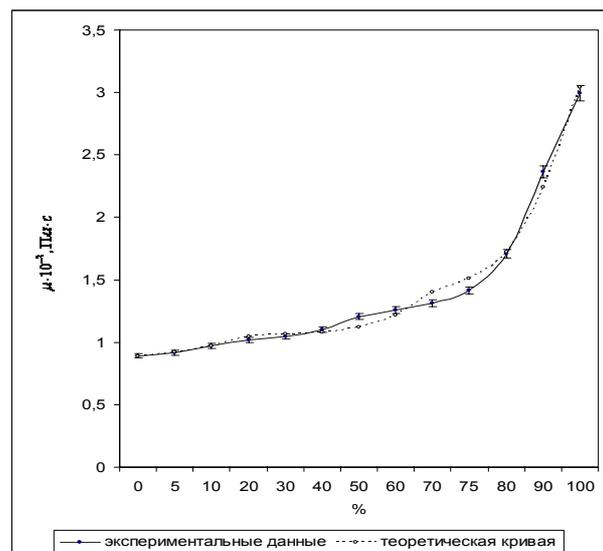


Рис. 3. Экспериментальные данные вязкости эмульсий на основе СОЖ-2 и рассчитанные по уравнению (10)

Для СОЖ-2 уравнение имеет вид:

$$\mu_g \cdot e^{2,5 \left(\frac{\mu_g \cdot 0,4 + \mu_c}{\mu_g + \mu_c} \right) \varphi (1 + 0,61 \cdot \varphi^{1/3} - 5,72 \cdot \varphi^{2/3} + 4,69 \cdot \varphi^{3/3})} = \mu \quad (10)$$

$$\ln \frac{\mu}{\mu_g} = 2,5 \cdot \left(\frac{\mu_g \cdot 0,4 + \mu_c}{\mu_g + \mu_c} \right) \cdot \varphi (1 + 0,61 \cdot \varphi^{1/3} - 5,72 \cdot \varphi^{2/3} + 4,69 \cdot \varphi^{3/3}). \quad (11)$$

Полученные математические модели позволяют рассчитать с большей точностью (в 2–3 раза) основные размеры установки для седиментационной очистки стоков от СОЖ [13]. Повышение точности расчета в указанное число раз может быть обосновано, данными, представленными на рис. 2 и 3, а также полученными нами уравнениями (9) и (11). Из них следует, что при высоких концентрациях СОЖ, вязкость содержащих их эмульсий увеличиваются в 2–3 раза, по сравнению с вязкостью чистой воды, которую обычно вводят в расчетную формулу Стокса (величина μ), для определения скорости всплывания капель СОЖ:

$$w_0 = \frac{gd^2(\rho_1 - \rho)}{18\mu} \quad (12)$$

где w_0 – скорость всплывания частицы; g – ускорение свободного падения; d – диаметр частицы; ρ_1 – плотность частицы, ρ – плотность воды; μ – динамическая вязкость воды.

Подставляя в знаменатель формулы величину μ , в 2–3 раза большую, чем вязкость воды, получаем уменьшенную в только же раз скорость w_0 .

Уменьшенная в указанное число раз величина w_0 дает увеличенную в столько же раз площадь поверхности седиментационной установки. В результате этого исключается ошибка в расчетах седиментационных установок, связанная с использованием вязкости чистой воды, а не соответствующей высококонцентрированной эмульсии. Полученные уравнения (9) и (11) позволяют точно рассчитать вязкость исследуемых эмульсий любых концентраций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смазочно-охлаждающие жидкости при резании металлов / под ред. М. И. Клушина. – М.: Машингиз, 1961. – 292 с.
2. ТУ 0258-002-322.654.95
3. ТУ 0253-012-069.133.80
4. ГОСТ 10028-67. Определение коэффициента кинематической вязкости жидкости.
5. *Перри Дж.* Справочник инженера-химика. пер. с англ. под ред. Н. М. Жаворонкова, П. Г. Романкова, т. 1, Л., 1969. – 471 с.
6. *Ландау Л. Д., Лившиц Е. М., Питаевский Л. П.* Теоретическая физика, т. 6, М., Физматлит, 2000. – 496 с.
7. *Виноградов Г. В., Малкина А. Я.* Реология полимеров. – М.: Химия, 1977. – С. 120-235, 490 с.
8. Гидродинамика и тепломассообмен течений жидкости со свободной поверхностью / под ред. И. Р. Шрейбера. – Новосиб., ИТФ, 1985. – 145 с.
9. *Бычков Ю. М.* Гидродинамика тонких потоков несжимаемой жидкости. – Кишинев.; Штиинца, 1981. – 109 с.
10. Leviton, Leighton. J. Phys. Chem., 40, p. 71, 1936.
11. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по высшей математике: М., Наука, 1973.
12. *Дубнов П. Ю.* Обработка статистической информации с помощью SPSS. – М.: АСТ. 2004. – 224 с.
13. *Карелин Я. А.* и др. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов: М., Стройиздат, 1982.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.8

В. И. Аверченков, С. М. Рошин, Ю. М. Казаков, В. А. Шкаберин
МОНИТОРИНГ И АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕРНЕТЕ

Брянский государственный технический университет (aver@tu-bryansk.ru)

В настоящее время проблема эффективного использования информации Интернета стоит чрезвычайно остро.

Целью выполненных исследований являлось разработка математических моделей, методов и средств автоматизации мониторинга и системного анализа распределенной информации в сети Интернет для формирования проблемно-ориентированных хранилищ данных.

Ключевые слова: мониторинг, системный анализ, проблемно-ориентированная информация, автоматизированная информационная система.

V. I. Averchenkov, S. M. Roschin, U. M. Kasakov, V. A. Shkaberin
INFORMATION MONITORING AND ANALYSIS IN THE INTERNET

Effective usage of data gained from the Internet is an important problem nowadays. The main goal of the research was the development of mathematical models and methods for monitoring and system analysis of the distributed information network in order to create problem-oriented databases.

Monitoring, system analysis, problem-oriented information, automated information system.

В настоящее время в сети Интернет создано множество разнообразных информационных ресурсов. Они используются в повседневной деятельности организаций, так как содержат необходимые для них сведения, например для принятия адекватных управленческих решений. При этом распространение информации носит, зачастую, неорганизованный и хаотичный характер. Это затрудняет поиск интересующих информационных ресурсов. Проблема эффективного использования информации Интернета стоит чрезвычайно остро. Поэтому, большое значение приобретает возможность автоматизации мониторинга и системного анализа распределенной проблемно-ориентированной информации.

Целью выполненных исследований являлось разработка математических моделей, методов и средств автоматизации мониторинга и системного анализа распределенной информации в сети Интернет для формирования проблемно-ориентированных хранилищ данных.

Для этого был разработан метод мониторинга проблемно-ориентированной информации в среде Интернет, в основе которого лежит новый подход к индексированию информации, ее классификации, лингвистическому распознаванию текстов и формализации в виде алгоритмов автоматизированной аналитической информационной системы.

Возможным подходом к достижению указанной цели могут являться имеющиеся в сети Интернет средства информационного поиска, к которым относятся каталоги, информационно-поисковые системы (ИПС) и метапоисковые системы [1, 2].

Однако ни одно из перечисленных средств не позволяет решить задачи полностью. В каталогах не всегда удается найти разделы, соответ-

ствующие требуемой предметной области (особенно для узких областей) и перечень информационных ресурсов в них, как правило, не значителен. В результатах поиска ИПС, как правило, присутствует значительный информационный шум, и анализ результата поиска, количество ссылок на документы в котором превышает несколько сотен, в таких системах сопряжен со значительными трудностями. Метапоисковые системы обладают теми же недостатками, что и ИПС, но они более выражены.

Для решения описанных проблем доступа к информации сети Интернет авторами была разработана автоматизированная система мониторинга и системного анализа распределенной проблемно-ориентированной информации [2]. Структура предлагаемой системы состоит из следующих частей: *многомерного хранилища данных, базы знаний, модуля мониторинга, модуля индексирования, модуля аналитики, модуля поиска и модуля управления* (рис. 1).

Эффективность работы автоматизированной аналитической информационной системы в значительной степени определяется составом используемых в ней формализованных знаний. **База знаний** в системе – это связующее звено между хранилищем данных и модулями системы. В нее включены следующие блоки: *метаданные, онтология, лингвистический анализ и когнитивное представление*.

Основная составная часть базы знаний системы – *блок метаданных*. Здесь содержится информация о том, что представляют собой данные хранилища, как они взаимосвязаны, какова структура данных, где хранятся данные, как получить доступ к ним и т. д. Доступ к метаданным имеют все модули системы, обслуживающие и использующие хранилище данных.

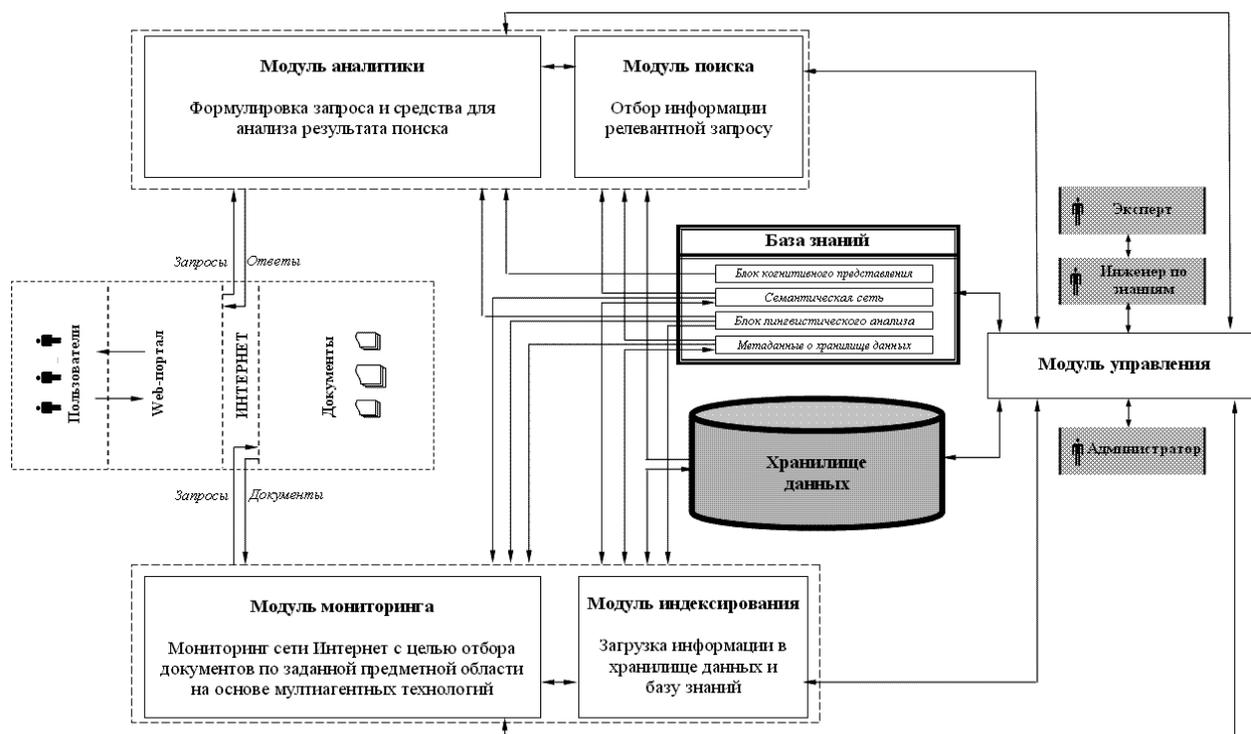


Рис. 1. Структура автоматизированной аналитической информационной системы

Создание и поддержка блока метаданных производится администратором системы. Этот блок является основой для всех процессов в хранилище и для обеспечения конечных пользователей доступом к информации в нем.

Следующий блок базы знаний – *онтология*. Этот блок служит для формализации знаний о группах документов, выделенных экспертом, относящихся к определенной теме. Внутренним представлением онтологии является тезаурус (рис. 2).

Онтология позволяет улучшить процесс поиска информации. Она позволяет более эффективно классифицировать документы Интернета,

относя их к определенным узлам, и обеспечивает значительное сужение диапазона поиска требуемых документов, что положительно сказывается на точности результатов поиска.

Блок лингвистического анализа в базе знаний служит для понимания системой содержания текстовых документов и запросов пользователя на естественном языке. Содержит знания, дающие возможность системе разбивать документы и запросы на отдельные слова, и выделять из них словосочетания. Кроме этого, блок решает задачи выделения основ слов (слова без окончаний) и нахождения слов сходных по смыслу – синонимов.

Еще один блок базы знаний – *блок когнитивного представления*. Он служит для предоставления пользователю найденной с помощью данной автоматизированной системы информации в удобном для просмотра, восприятия и анализа виде и включает набор правил, необходимых для выполнения этих функций.

Обобщенная *процедура работы аналитической информационной системы* состоит в следующем:

1. Периодически с использованием модуля управления системы запускаются на выполнение модули мониторинга и индексирования. Цель работы данных модулей – найти новые и измененные информационные ресурсы в сети

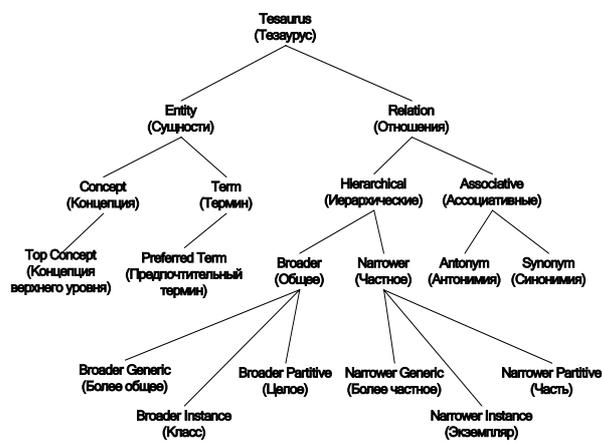


Рис. 2. Объекты тезауруса

Интернет, относящиеся к тематике предметной области, на которую ориентирована система, и скорректировать многомерное хранилище данных системы в соответствии с текущим состоянием информационных ресурсов.

2. Параллельно с модулями мониторинга и индексирования и независимо от них в системе выполняются другие два модуля – модуль аналитики и модуль поиска. Задача этих модулей – используя многомерное хранилище данных и базу знаний, отобрать данные, соответствующие запросам пользователей, и произвести их аналитическую обработку. При этом в ответ на запрос выдаются только те данные, информация о которых уже известна системе к моменту поступления запроса, т. е. эти данные проиндексированы и занесены в многомерное хранилище данных.

Рассмотрим более подробно *основные процессы*, лежащие в основе функционирования данной автоматизированной аналитической информационной системы.

Одним из важных процессов в системе является *мониторинг информации*. Под мониторингом в работе будем понимать процесс постоянного сбора релевантной системе информации из сети Интернет с целью дальнейшего ее исследования методами системного анализа. Для обеспечения качественного мониторинга проблемно-ориентированной информации в сети Интернет в разрабатываемой системе реализуется два подхода, сущность которых состоит в следующем. Автоматизированная система периодически последовательно взаимодействует со всеми зарегистрированными в системе внешними по отношению к ней средствами информационного поиска и таким образом отбирает проблемно-ориентированную информацию (рис. 3). Также в системе предусмотрена возможность задания экспертами адресов конкретных информационных ресурсов, соответствующих предметной области, которые также исследуются системой.



Рис. 3. Процесс мониторинга информации

Структурно модуль мониторинга представляет собой многофункциональный программный продукт. При этом можно выделить функции обеспечивающие сканирование WEB-ресурсов Internet и занесение найденной информации в хранилище данных. При запуске модуля эти функции реализуют автоматическое определение операционной системы, формируют многоагентный поиск, используя различные ИПС, а также обеспечивают информационное наполнение ХД и ее администрирование. Настройка на конкретную ИПС выполняется в конфигурационном файле. Обработка файла описания поисковых систем производится на этапе составления запросов к ПС и загрузки ПС. При этом на этапе создания запросов к ПС, используется параметр описания каждой из ПС, а на этапе обработки запросов используются регулярные выражения, предназначенные для выявления информации о найденных страницах. Также процедура модуля мониторинга обеспечивает возможность редактирования входного файла запросов. Изменение (добавление информации) данного файла может производиться динамически во время работы модуля. Пользователю доступно редактирование вспомогательных файлов используемых при работе модуля. Для повышения эффективности получения релевантной информации в модуле формируется в полуавтоматическом режиме "черный" список не желательных документов и сайтов. Также модуль позволяет отслеживать и некоторые статистические данные необходимые для определения, как текущего рабочего состояния модуля, так и для получения информации об эффективности заданных параметров.

Оперативное управление отобранными в результате сканирования по поисковым запросам и скаченными в ХД документами осуществляется с использованием модуля предварительного администрирования WEB-ресурсов. Модуль включает ряд процедур – это просмотр всего содержимого ХД, удаление, корректировка, пометка на удаление, занесение в черный список документов и сайтов, поиск документов по различным критериям, локальное занесение документа в ХД, статистические данные по типам документов.

Для просмотра ХД разработаны процедуры динамического иерархического формирования каталога документов. Каталог документов представляет собой 4-х уровневый индексированный список. На каждом уровне предусмат-

ривает введение поискового запроса для документа – по типу поисковой системы, по релевантности, тематическому блоку, поисковой фразе, расширению, дате, размеру, заголовку документа. Для просмотра ХД могут быть использованы от одного до 4-х уровней. Это дает возможность расширять либо сужать объем рассматриваемых документов (рис. 4). Индексированный список представлен в виде дерева, что обеспечивает возможность перемещаться по различным отсортированным рубрикам. Окно просмотра представляет собой перечень названий документов с рядом дополнительных параметров – пометкой уже просмотренных документов, пометкой документов на удаление, пиктограммами для просмотра документа из Internet, занесения сайта в черный список и т. д. Процедуры динамического формирования каталога позволяют оперативно добавлять и менять поисковые запросы для каждого уровня.

Просмотр информации содержащейся в документе может осуществляться непосредственно для документа занесенного в ХД, а также при закачивания его из Internet (рис. 5).

Модуль администрирования также позволяет осуществлять поиск конкретных документов по ряду параметров: заголовку, размеру, дате создания, поисковой системе, адресу, расширению, описанию, тематическому блоку, реле-

вантности. Причем часть параметров выбирается из списка – тематический блок, поисковая система, часть заносится пользователем на естественном языке – название, описание.

В модуле предусмотрены процедуры формирования статистической информации по характеристикам документов. Так динамически формируется диаграмма по количеству документов с различным расширением, временем создания, объемом и т. д.

Таким образом, модули мониторинга и администрирования WEB ресурсов реализует алгоритмы, осуществляющие формирование запросов внешним средствам поиска, автоматический анализ списка результатов внешних средств поиска, проход по ссылкам Web-страниц, проход по структуре каталогов, проверку соответствия найденных документов тематике предметной области, а также предварительное заполнение семантической сети системы по предметной области, поиска и редактирования документов ХД.

Модуль мониторинга реализован с использованием мультиагентных технологий. В этом случае, каждый из агентов ищет информации в Интернете только по своей предметной области. Это позволяет настроить систему для поиска информации одновременно по нескольким предметным областям.

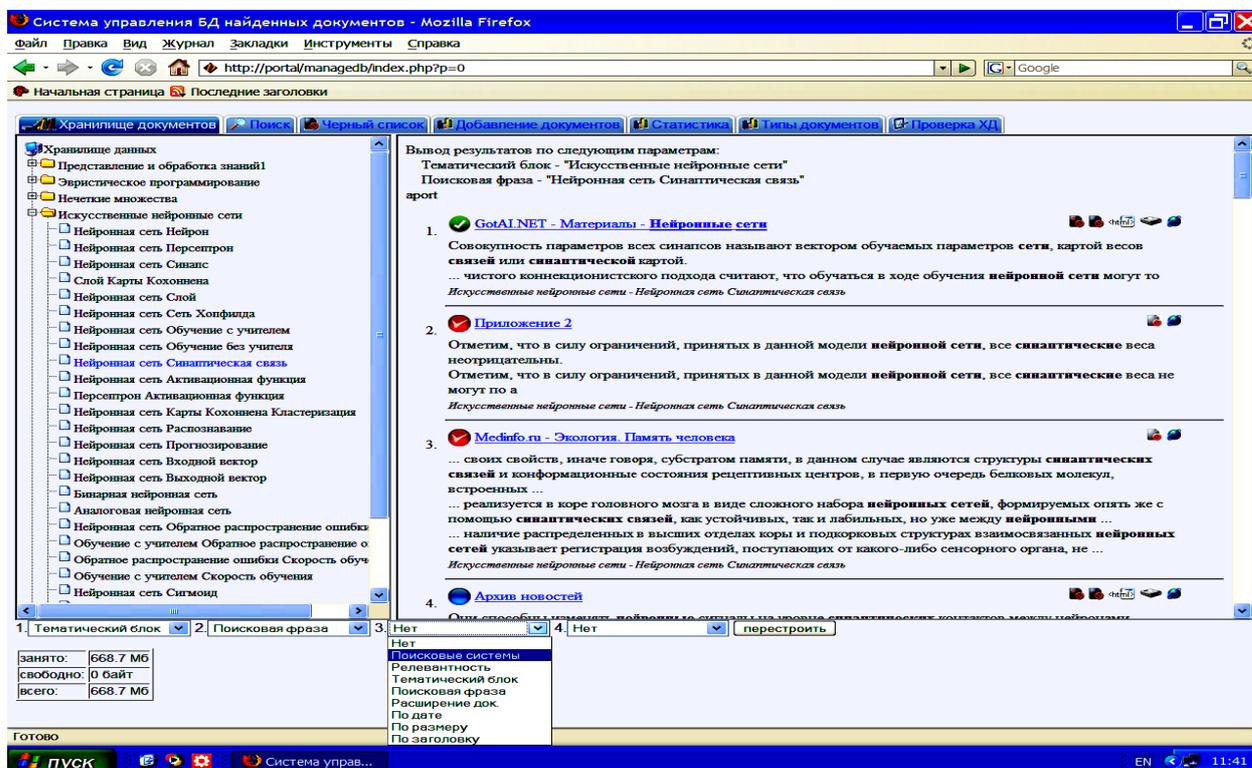


Рис. 4. Копия экрана интерфейса модуля администрирования

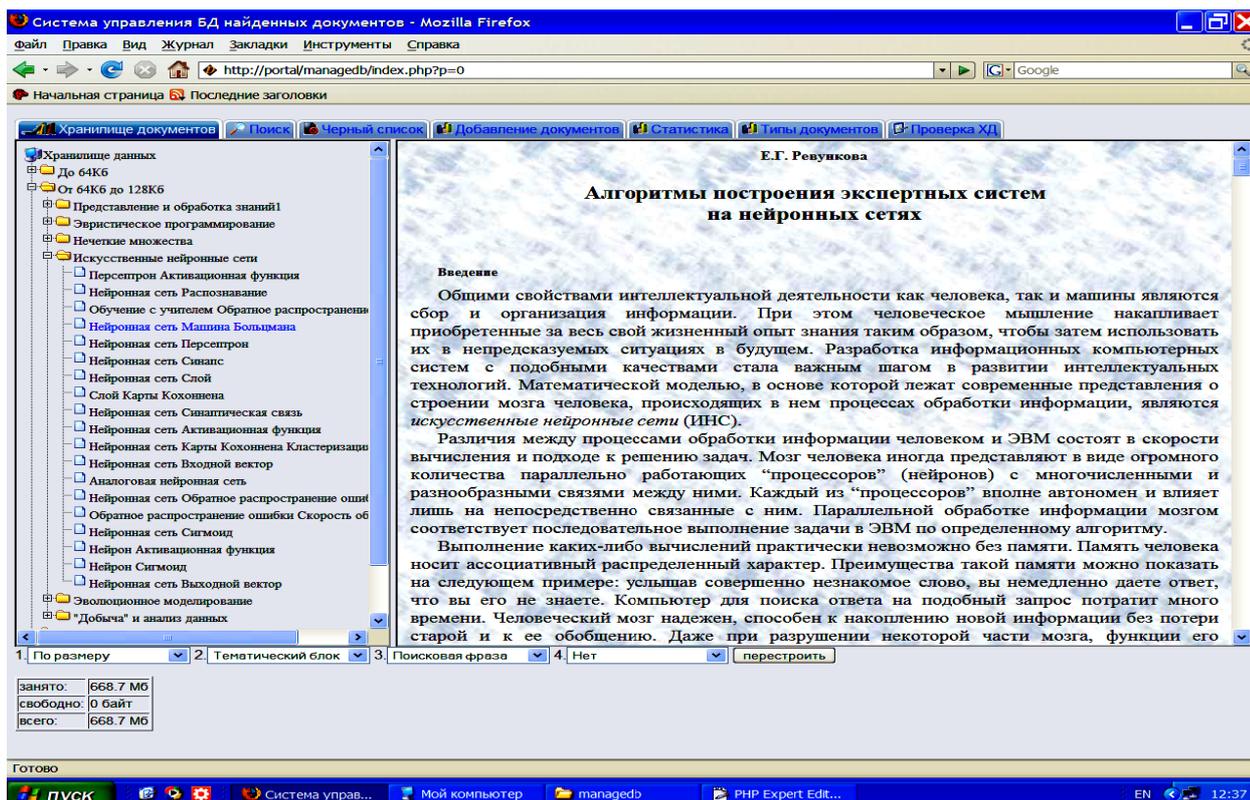


Рис. 5. Копия экрана интерфейса модуля администрирования

Еще одним основным процессом представляемой системы является **процесс индексирования информации**.

Под индексированием информации будем понимать формирование сведений о тексте документа в средстве информационного поиска, основываясь на его содержании, достаточным для его нахождения данным средством. Цель процесса индексирования – приписать документу некоторое множество идентификаторов (понятий, терминов, ключевых слов), отражающих содержание документа, т. е. составить ему так называемый поисковый образ документа (ПОД).

На вход метода индексирования поступают документы, отобранные средством информационного поиска из внешней среды при помощи модуля мониторинга.

На выходе метода индексирования получают ПОД, которые необходимы средству поиска для выбора соответствующих запросу пользователя документов (рис. 6).



Рис. 6. Процесс индексирования информации

Процесс индексирования состоит из операции: отбор индексационных терминов, используемых для описания содержания документа, и приписывание этим терминам некоторого веса, отражающего предполагаемую значимость.

При выполнении индексирования выбираются слова, встречающиеся в каждом документе, и делаются статистические подсчеты, в основе которых находится частота и место появления данного слова в документе. Далее отбрасываются общеупотребительные слова, имеющие высокую частоту, а оставшимся словам приписываются веса в соответствии с ранее проведенными статистическими подсчетами. На заключительном этапе документ помещается в многомерное хранилище данных и его ПОД – в блок метаданных БЗ.

Вычисление веса слова в документе осуществляется по формуле[2]:

$$W(t, D_m) = \sum_{i=1}^{n_i} k_i^t + \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^{n_j} k_i^j, \quad (1)$$

где: n_i – количество вхождений слова t в документ D_m ;

l – количество синонимов слова t , используемых в документе D_m ;

n_j – количество вхождений синонима j слова t в документ D_m ;

k_i^t (k_i^j) – коэффициент, определяющий значимость слова t (j), находящегося в документе D_m на позиции i .

Также основным процессом в разрабатываемой автоматизированной аналитической информационной системе является *классификация информации*. В основе данного процесса лежит построение и использование онтологии определенной предметной области.

Начальный этап формирования онтологии осуществляется экспертом с использованием модуля управления системы. На этом этапе формируются основные узлы сети и им сопоставляются понятия предметной области. Затем осуществляется сопоставление узлам сети конкретных документов из заданной предметной области.

При построении онтологии предметной области, в первую очередь необходимо сформировать список терминов, на основе которого будет создана модель системы. Например, в число важных терминов, связанных с заданной предметной областью будут входить такие понятия как: САПР, система, CALS – технология, модель, проектирование, геометрическое ядро и т. п. Предварительно формируется полный список терминов, без оценки пересечения понятий, которые они представляют, и отношений между терминами.

После составления глоссария разрабатывается иерархия понятий (классов) и определяют свойства понятий (слотов).

Для разработки иерархии классов могут быть использованы нисходящий, восходящий и комбинированный подходы

- Процесс нисходящей разработки начинается с определения самых общих понятий предметной области с последующей конкретизацией понятий.

- Процесс восходящей разработки начинается с определения самых конкретных классов, листьев иерархии, с последующей группировкой этих классов в более общие понятия.

- Процесс комбинированной разработки – это сочетание нисходящего и восходящего подходов: Предварительно определяются более заметные понятия, а затем соответствующим образом проводят их обобщение и ограничение.

Следуя принципам разработки онтологий, для заданной предметной области были определены следующие классы для наиболее общих понятий: "CALS – технология", "Этапы жиз-

ненного цикла промышленного изделия", "Автоматизированные системы". Далее каждый из классов был уточнен множеством подклассов, например "Этапы жизненного цикла промышленного изделия" до "Маркетинг", "Проектирование", "Технологическая подготовка производства", "Производство" и др.

Классы сами по себе не предоставляют достаточно информации для ответа на запросы пользователей. После определения некоторого количества классов была описана внутренняя структура понятий. Для каждого свойства из списка определялся описываемый им класс. Эти свойства являются слотами, привязанными к классам. Таким образом, у класса "Интегрированные САПР в машиностроении" будут следующие слоты: название, производитель, геометрическое ядро, модули. А у класса "Разработчик" – название, производитель.

В онтологии слотами могут стать несколько типов свойств объектов:

- "внешние" свойства, такие как название САПР;

- части, если объект имеет структуру; они могут быть как физическими, так и абстрактными "частями" (например, тип модуля для модуля конкретной системы);

- отношения с другими индивидуальными концептами; это отношения между отдельными членами класса и другими элементами (например, производитель САПР, представляющий отношение между конкретной САПР и фирмой).

Все подклассы класса наследуют слоты родительского класса. Например, все слоты класса "Интегрированные САПР" будут унаследованы всеми подклассами этого класса, включая "Тяжелого класса", "Среднего класса", "Легкого класса".

Слот должен быть привязан к самому общему классу, у которого может быть данное свойство.

После этого создается база знаний, определяются отдельные экземпляры этих классов, вводятся в определенный слот значение и дополнительные ограничения для слота.

Для проекта была сформирована онтология предметной области "CALS- CAD- CAM- CAE-технологии", отражающая взаимосвязь классов "Интегрированные САПР в машиностроении", "Разработчики", "Геометрические ядра", "Этапы жизненного цикла промышленного изделия" ("Проектирование", "Технологическая подготовка производства") и т. д. (рис. 7).

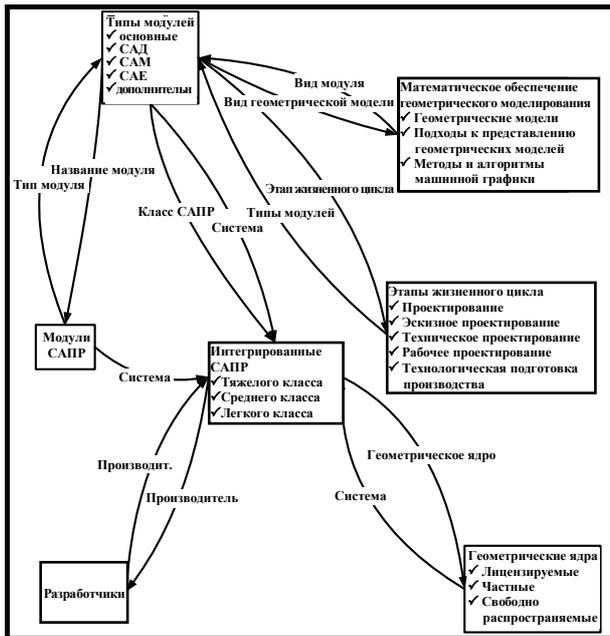


Рис. 7. Классы и связь классов в онтологии предметной области CAD-CAM- CAE технологии

Использование созданной онтологии, классифицирующей документы конкретной предметной области, конечными пользователями осуществляется через модуль аналитики. С применением данного модуля пользователь формулирует запрос, откликом системы на который являются фрагменты построенной онтологии. Эти фрагменты можно рассматривать в качестве информационной модели изучаемой пользователем темы. Система позволяет осуществлять навигацию по выданным фрагментам сети и просматривать документы, которые им соответствуют.

Возможен доступ к системе и через Web-интерфейс, реализованный с использованием портала. Это позволяет работать с системой удаленно.

Представленная система универсальна в том смысле, что подходы, используемые в ней, не зависят от конкретной предметной области. Система может быть настроена на работу с информацией из широкого спектра различных предметных областей.

Разработанная система формирования знаний значительно облегчает процессы индексирования и поиска самых разнообразных электронных информационных ресурсов и позволяет повысить эффективность работы специалистов на предприятии.

Возможности новой системы позволяют сэкономить пользователям не только время, но и материальные затраты за счет полной автоматизации процесса сбора информации и сокращения числа исполнителей.

В итоге система предоставляет следующие функциональные возможности [2]:

- собирать определенную (интересующую с точки зрения анализа) информацию из Интернета;
- накапливать ее в едином хранилище данных;
- работать с информацией хранилища посредством интерфейса пользователя;
- сохранять полученные в программе отчеты на запросы пользователя.

Реализация предложенного в данной работе подхода позволила разработать эффективный метод доступа к проблемно-ориентированной информации из больших распределенных неструктурированных массивов информации, в том числе и из сети Интернет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверченков В. И., Мирошников В. В., Роцин С. М. Информационный поиск в сети Интернет: учеб. пособие. – Брянск: БГТУ, 2001. – 204 с.
2. Аверченков В. И., Роцин С. М. Мониторинг и системный анализ информации в сети Интернет: монография. – Брянск: БГТУ, 2006. – 160 с.

УДК 004.94

С. В. Аверьянов, К. В. Кумунжиев
СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СЕРВИСОВ
С МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ОБРАБОТКОЙ ТРАНЗАКЦИЙ

Ульяновский государственный университет (cad@vstu.ru)

Статья посвящена проблеме планирования производительности системы обработки сообщений (транзакций). Предлагается решение проблемы в виде системы поддержки принятия решений для подобных сервисов. Была построена модель предметной области, формализованы типичные управленческие задачи, разработан алгоритм оптимизации параметров модели.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, модель, оптимизация.

S. V. Averyanov, K. V. Kumunzhiev
A DECISION-SUPPORT SYSTEM FOR SERVICES WITH MULTI-STEP PROCESSING
OF TRANSACTIONS

The paper focuses on the problem of productivity planning for services with multi-step processing of transactions. A new decision-support system gives a solution to the problem. Data domain was created, typical management tasks were formalized, a new algorithm of model's parameters optimization was created.

Decision-support system, model, optimization.

В последнее время одним из наиболее динамично развивающихся (равно как и пользую-

щихся все большей популярностью) сегментов рынка информационно-развлекательных услуг

становятся системы обработки сообщений в режиме реального времени: разного рода чаты, SMS сервисы контент-провайдеров и прочее.

По мере увеличения доступности коммуникационных оконечных устройств (мобильной связи, Интернета) вообще и повышения качества их технологической составляющей (постепенное увеличение доли высокоскоростных подключений к интернету) интерес к подобному роду услугам как со стороны потребителя, так и со стороны контент- и сервис-провайдеров будет только возрастать.

Однако, несмотря на то, что названные услуги пользуются стабильным и все увеличивающимся спросом, перед поставщиками услуг стоит ряд достаточно неприятных технологических проблем.

Одна из наиболее важных среди них – планирование производительности системы таким образом, чтобы она успешно обрабатывала поток внешних сообщений (транзакций). Скорость их поступления в случае массовости сервиса в настоящее время может достигать десятков сообщений в секунду. С учетом того, что каждая транзакция обычно проходит несколько последовательных этапов обработки, недостаточная производительность системы на любом из этапов может привести к значительным задержкам в обработке сообщений, и как следствие, к неудовлетворенности конечного пользователя, выражающейся в уменьшении числа запросов с его стороны.

Кроме того, нужно учитывать, что после рекламной компании, проводимой через средства массовой информации (телевидение, радио), следует мгновенный рост нагрузки на систему как результат реакции целевой аудитории на рекламное воздействие.

Необходимо отметить, что в настоящее время общего системного подхода к вопросу планирования роста производительности программных комплексов, обрабатывающих транзакции в режиме реального времени, предложено не было. Системы поддержки принятия решений, применимой к данной предметной области, также не существует. Планирование ресурсов осуществляется в основном эмпирическим путем на основе неформального обобщения предшествующего опыта руководством соответствующих технологических подразделений. Отчасти это объясняется относительной новизной проблемы, отчасти тем, что в динамичных конкурентных условиях данного рынка зачастую приходится принимать пусть даже не оптимальные, но быстрые решения.

Решить проблему качества планирования, а также уменьшить время и затраты на приня-

тие решений могла бы система поддержки принятия решений для систем подобного рода. В рамках данной системы необходимо создать модель предметной области, выделить и формализовать типичные управленческие задачи по принятию решений для вышеописанных систем, а также разработать алгоритмы решения задачи и оптимизации параметров модели.

Модель состоит из следующих элементов:

1) Источник сообщений, поступающих в систему с максимальной мощностью P_{IN} сообщений в единицу времени.

2) Приемник сообщений, отдаваемых системой вовне и представляющих собой результат обработки абонентского запроса с максимальной мощностью P_{OUT} сообщений в единицу времени.

3) Компонент системы – программный процесс, осуществляющий обработку транзакции на определенном этапе.

Основная его характеристика – пропускная способность \tilde{p}_i .

4) Узел системы – совокупность однотипных компонентов, параллельно осуществляющих обработку транзакций на одном и том же этапе. Число компонент в узле – q_i . Еще одним атрибутом узла является среднее соотношение сообщений, входящих в узел, и сообщений, исходящих из него – k_i , причем $k_i > 1$.

В модели присутствует следующее множество факторов, влияющих на производительность системы:

- Число параллельно работающих компонент в составе каждого узла – вектор $\bar{Q} = (q_1, \dots, q_n)$;

- Время персонала, обслуживающего систему, затраченное на ее реконfigurирование – вектор $\bar{T}_1 = (t_{11}, \dots, t_{1n})$;

- Время персонала, обслуживающего систему, затраченное на ее модификацию – вектор $\bar{T}_2 = (t_{21}, \dots, t_{2n})$.

Таким образом, каждый узел в модели характеризуется тремя переменными, две из которых могут принимать вещественный значения, а одна – только целочисленные. Т. е.

$$\tilde{p}_i = f(t_{1i}, t_{2i}, q_i), i = 1..n. \quad (1)$$

Функция, выражающая зависимость производительности i -го узла системы от вышеназванных факторов будет иметь вид:

$$\tilde{p}_i = (p_i^b + \Delta p^c(t_{1i}) + \Delta p^u(t_{2i})) \cdot (q_i^b + q_i) \quad i = 1..n. \quad (2)$$

где: p_i^b – начальная производительность i -го узла (константа);

$\Delta p^c(t)$ – функция, выражающая зависимость прироста производительности в результате реконfigurирования системы от времени (в человеко-часах), затраченного на него;

$\Delta p^u(t)$ – функция, выражающая зависимость прироста производительности в результате модификации кода узла от времени (в человеко-часах), затраченного на нее;

q_i^b – начальное количество параллельно работающих в узле компонент (константа);

q_i – дополнительные компоненты, добавленные в узел.

В конечном итоге нам нужно оптимизировать производительность системы в целом, которая может быть записана так:

$$F(\tilde{p}_1, \dots, \tilde{p}_n) \equiv F(\bar{T}_1, \bar{T}_2, \bar{Q}). \quad (3)$$

Она является функцией от $3n$ аргументов, $2n$ из которых могут принимать вещественные значения, а оставшиеся n – дискретные.

При этом на множество допустимых значений аргументов могут быть наложены ограничения:

$$c_j(\bar{T}_1, \bar{T}_2, \bar{Q}) > 0, j = 1..m. \quad (4)$$

Рассматриваются два вида ограничений:

- Временное (на каждый вид мероприятий по увеличению производительности нужно затратить не более, чем наперед заданное время).

$$\sum_{i=1..n} t_{1i} \leq C_1. \quad (5)$$

$$\sum_{i=1..n} t_{12} \leq C_2. \quad (6)$$

- Финансовое.

$$\sum_{i=1..n} t_{1i} s^c + t_{2i} s^u + q_i v_i \leq M. \quad (7)$$

где: M – бюджет, выделенный на проведение мероприятия;

s^c – стоимость человеко-часа работы персонала, задействованного в реконfigurировании;

s^u – стоимость человеко-часа работы персонала, задействованного в модификации кода системы;

v_i – стоимость добавления одной дополнительной компоненты в состав i -го узла (фактически, аппаратная стоимость).

В общем виде задача оптимизации записывается как:

$$\begin{aligned} & \min_{\bar{T}_1, \bar{T}_2, \bar{Q}} (F(\bar{T}_1, \bar{T}_2, \bar{Q})) \\ & c_j(\bar{T}_1, \bar{T}_2, \bar{Q}) > 0, j = 1..m \end{aligned} \quad (8)$$

Авторами на основании модели был разработан программный продукт, позволяющий:

- Формализовать процесс обработки транзакций в вышеописанных системах;
- Проанализировать поток транзакций и аналитически выявить их закономерность;
- Оптимизировать параметры системы и способствовать принятию управленческих решений по рациональному распределению ресурсов для повышения ее производительности с учетом разного рода ограничений;
- Экспортировать модель для ее дальнейшего исследования внешними средствами имитационного моделирования.

Принятие решений сводится к выбору рационального распределения ресурсов для минимизации функции F с учетом наличных ограничений.

У функции F может быть несколько локальных экстремумов, поэтому традиционные методы выпуклой оптимизации здесь неприменимы. Корректной будет такая последовательность действий:

1. Найти все локальные экстремумы
2. Выбрать из них минимальный, который является глобальным экстремумом.

Для нахождения локального экстремума авторы разработали следующий алгоритм:

- 1) Выбираем допустимую стартовую целочисленную точку \bar{Q}_0 (например, с нулевыми координатами – т. е. дополнительных компонент в узле нет);

- 2) При фиксированных целочисленных координатах численно решаем задачу оптимизации, изменяя действительные параметры. Получаем оптимум F_0 для данной фиксированной \bar{Q}_0 .

- 3) Исследуем целочисленную окрестность точки \bar{Q}_0 : (не более, чем $2n$ точек), вычисляя для каждой допустимой (удовлетворяющей ограничениям) точки оптимум аналогично 2). Получаем k значений функции F : $\{f_{01}, \dots, f_{0k}\}$ (Из $2n$ точек исключаем недопустимые, получаем k точек, где $k \leq 2n$). Для $n = 2$ пример окрестности показан на рис. 1.

- 4) Находим такую точку в текущей окрестности, значение целевой функции в которой меньше текущего оптимума, а также меньше значения целевой функции во всех остальных точках окрестности (фактически, находим самое лучшее возможное решение в окрестности), т. е. ищем точку с номером m таким, что:

$$f_{0m} < F_0 \text{ and } \forall i = 1..k f_{0m} < f_{0k}. \quad (9)$$

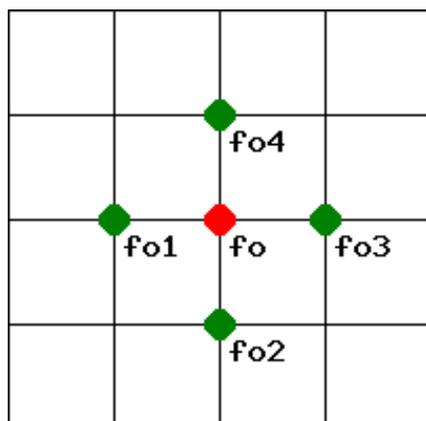


Рис. 1. Окрестность целочисленной точки

Если такого m не найдено, то F_0 – оптимум. Иначе в качестве \bar{Q}_0 выбираем точку, соответствующую найденной f_{0m} и переходим к 2). Так, переходя от точки к точке, мы получаем локальный экстремум (при $n = 2$ см. рис. 2).

Необходимо отметить, что в силу специфики задачи функция $F(\bar{T}_1, \bar{T}_2, \bar{Q})$ при фиксированном \bar{Q} является выпуклой. Соответственно ее минимизация производится при помощи метода градиента [3]. Граничные условия соблюдаются за счет использования штрафных функций [1].

После того, как найден один из локальных экстремумов функции F , эвристически находим остальные экстремумы (если они есть) с использованием "метода табу" [4]. Для этого:

1) Удаляемся от целочисленной точки \bar{Q}_0 в $2n$ направлениях до границ области допусти-

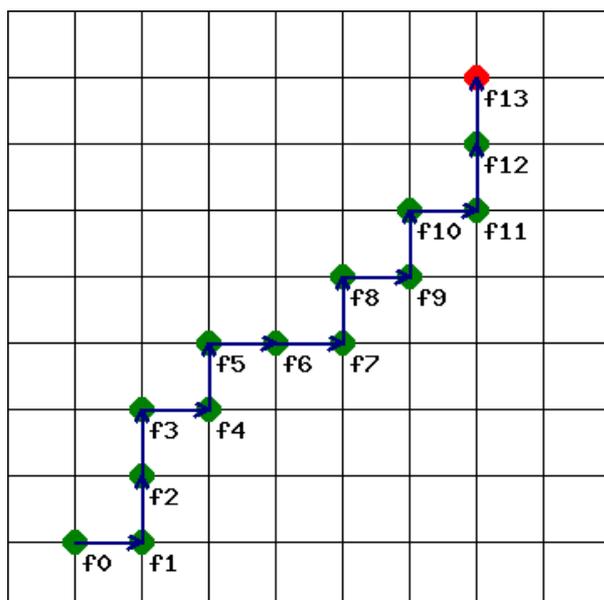


Рис. 2. Последовательность итераций при поиске локального экстремума

мых значений (но не более чем на заранее заданное число шагов на тот случай, если в выбранном направлении граница слишком удалена от точки локального экстремума).

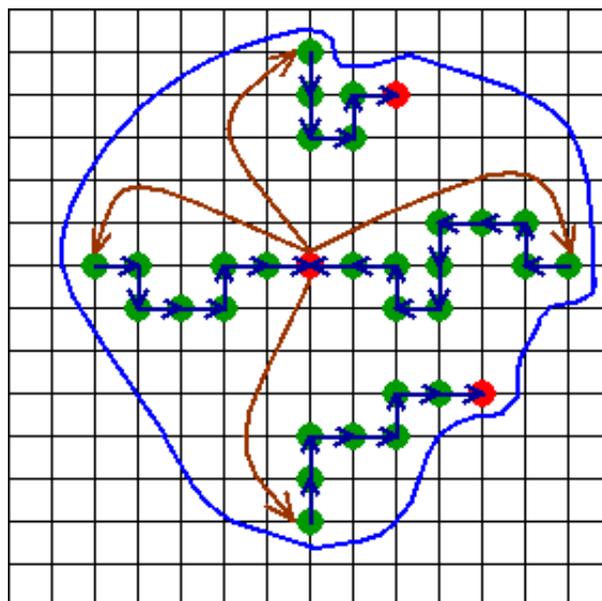
2) Для каждой из $2n$ точек на границе повторяем описанный выше процесс поиска экстремума.

3) Получаем $2n$ локальных экстремумов, из которых выбираем минимальный (рис. 3).

При описанном выше процессе поиска локального экстремума из нескольких стартовых точек может сложиться ситуация, когда нам несколько раз приходится численно выполнить оптимизацию по действительным параметрам в одной и той же целочисленной точке (если мы попадаем в нее разными путями).

Для того чтобы не делать лишних вычислений, в соответствии с рекомендациями метода табу используется кеш и р о в а н и е [5]. После того, как была выполнена задача оптимизации функции при фиксированных целочисленных значениях, результат сохраняется в памяти (т. е. в кеше, реализованном в виде хеш-функции). В дальнейшем, прежде чем выполнять такую оптимизацию, кеш просматривается на предмет наличия в нем результата для данной точки.

По результатам серии тестов можно утверждать, что в п. 2 алгоритма нахождение локального экстремума (минимизация функции по действительным параметрам при фиксированном значении целочисленных методом градиента) с требуемой точностью достигается за 150–200 шагов метода градиента.

Рис. 3. Множественные локальные экстремумы для $n = 2$

Кроме того, область допустимых значений целочисленных параметров ограничена (из-за наличия ограничений), а само нахождение локального экстремума в среднем занимает не более 40-50 шагов. Это подтверждается и практическими соображениями. Целочисленные параметры, как было сказано выше – это число дополнительных программно-аппартных компонент в составе каждого узла, а ограничения, в которых эти параметры фигурируют, в действительности носят финансовый характер, за счет чего варьирование каждого целочисленного параметра происходит в пределах десятков.

Учитывая, что при решении задачи происходит исследование $2n$ локальных экстремумов (n – число узлов), общее число шагов метода градиента составит не более $200 \cdot 50 \cdot 2n = 20\,000n$.

Большинство реально встречающихся на практике систем последовательной обработки сообщений имеют в своем составе не более десятка узлов (т. к. большее их число приводит к излишней сложности процесса обработки сообщений и увеличивает накладные расходы на передачу сообщений между узлами), т. е. $n < 10$, а общее число шагов в худшем случае составит не более 200 000, что является приемлемой величиной для современных аппаратных вычислительных средств.

Таким образом, представленный выше алгоритм позволяет достаточно эффективно решать задачи целочисленно-непрерывной оптимизации и может быть использован для широкого круга задач подобного вида.

В конечном же итоге практический положительный эффект от использования системы поддержки принятия решений выразится в:

- повышении качества принимаемых управленческих решений;
- минимизации времени на их принятие и, как следствие, снижении издержек;
- оптимизации расходования производственных ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. М., Наука, 1987.
2. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. М., "БНВ", 2005.
3. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. М., Наука, 1989.
4. Glover, F. and M. Laguna (1997) Tabu Search, Kluwer Academic Publishers, Boston.
5. Lokketangen, A. K. Jornsten and S. Storoy (1994). Tabu Search within a Pivot and Complement Framework, International Transactions in Operations Research, Vol. 1, № 3. – P. 305–316.

УДК 004.896

В. Л. Бердник

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СУЩНОСТИ ДЛЯ УЧЕТА НЕЛИНГВИСТИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Волгоградский государственный технический университет (bwl@inbox.ru)

В статье предлагается представление семантического сравнения имен сущностей как задачи принятия решения и рассматривается частный случай реализации метода сравнения с учетом нелингвистических составляющих.

Ключевые слова: нелингвистические признаки в задаче сравнения высказываний идентификации сущности, семантическое сравнение как задача принятия решения.

V. L. Berdnik

THE DECOMPOSITION OF IDENTIFICATION ESSENCE PROBLEM WITH DUE REGARD FOR NON LINGUISTIC COMPONENTS.

This fast track provides a conception of semantic comparison essence name as decision problem. Particular case of comparison method with non linguistic indication is considered.

Non linguistic indication in comparison identification essence problem, semantic comparison as decision problem.

Эта статья является продолжением работы [1]. В ней формально ставится задача идентификации сущности, рассматриваются закономерности и семантический состав используемых естественно-языковых конструкций. Для целостности изложения, укажем основные определения.

Под высказыванием идентификации сущности (далее – *высказывание*) будем понимать символьную строку конечной длины. Высказывание идентифицирует сущность, либо группу

семантически близких сущностей, воспринимаемых, согласно предметной области, как единое явление.

Под термином "Издатель", будем понимать субъект общества, в котором группа людей пополнила БД высказываний идентификаций сущностей. Под термином "Потребитель" будем понимать компьютерную систему анализа и сопоставления высказываний различных Издателей.

Введем следующие обозначения:

U – универсум высказываний, в данном случае, специальный корпус текстов;

S – универсум идентифицируемых сущностей;

U^+ – множество высказываний $U^+ \subset U$, для которого известно Потребителю соответствие $f: U^+ \Rightarrow S$;

T_s^+ – множество известных Потребителю синонимов идентификации заданной сущности s , так что $\forall T_s^+ \subset U^+ \& f: T_s^+ \Rightarrow s$;

D – коллекция документов $D = \{d\}$, где d – конкатенация строк всех высказываний множества T_s^+ . Документ d идентифицирует заданную сущность s . Коллекция документов D соответствует множеству $S^+ \subset S$, и является *неполной*. Дополнение множества $\bar{S} = S \setminus S^+$ невозможно задать в D из-за неопределенности (потенциальности) S .

Существует три способа задания (описания высказыванием) сущности.

Экстенциональное задание – высказывание содержит кодовое обозначение (модель изделия, уникальное название (например, книги), код по классификатору (например, ISBN), и т. д.) однозначно идентифицирующее сущность. В этом случае, задача сводится к детерминированному извлечению из высказывания и сопоставлению с образцом кодового обозначения. Допускаются высказывания, состоящие только из кодовых обозначений.

Пример высказывания: "МФУ HP LJ 3380 (Q2660A) лазерный + копир + сканер" – имеет кодовое обозначение Q2660A, полностью идентифицирующее изделие.

Рассмотрение методов идентификации по кодовому обозначению не входит в цели данной статьи.

Интенциональное задание – высказывание содержит задание предикатов сущностей семантически самостоятельными единицами. В этом случае возможны различные явления естественного языка: лексическая полисемия, синонимия, ввелингвистическая пресуппозиция, и т. д. Рассмотрим пример синонимии идентификации изделия "Устройство для подключения принтеров с разъемом LPT к порту USB компьютера с кабелем".

1. Контролер USB-LPT 2.0m.
2. Адаптер USB-LPT 2.0m.
3. Кабель USB-LPT 2.0m.

В примере, для идентификации "устройства с кабелем" используются термы:

- 1) "контролер" – сложное электронное устройство;
- 2) "адаптер" – коробка с проводом;

3) "кабель" – средство подключения принтера к компьютеру.

Слова "контролер", "адаптер", "кабель" не являются лексическими синонимами – каждому слову соответствует свое семантическое значение. В указанном примере между термами и предикатом сущности существуют нечеткие отношения, а именно, используются элементы из *группировки объектов* с некоторым общим свойством (предикатом) сущности [2].

Смешанное задание – высказывание содержит кодовое обозначение, которое неоднозначно идентифицирует сущность. Кодовое обозначение должно сочетаться с указанием дополнительных предикатов.

Задача идентификации сущности это поиск биективного соответствия между коллекцией документов $D = \{d\}$ и произвольным множеством высказываний $\{V \mid V \in U \& V \notin U^+\}$. Для каждого высказывания V необходимо выбрать один из альтернативных вариантов сущностей S^+ представленный документом из коллекции D , или указать на необходимость пополнения D .

Задачу идентификации сущности можно отнести к классу задач принятия решения (ЗПР). Задача принятия решений представима следующим кортежем:

$$\langle B, K, X, F, P, z, t \rangle, \quad (1)$$

где: B – множество допустимых альтернативных вариантов;

K – множество критериев выбора;

X – множество шкал критериев. Каждая шкала представляет собой множество оценок с отношением порядка. Множество X может содержать шкалы различных типов, их прямое произведение $X_1 X_2 \dots X_n$ образует множество векторных оценок;

F – множество отображений вида $f: B \Rightarrow R$, заданных для каждого критерия, F задает отображение множества допустимых альтернатив в множество векторных оценок;

P – система предпочтений решающего элемента, которая выражается совокупностью некоторых множеств с отношением предпочтения и является некоторой эмпирической системой с отношениями;

r – решающее правило, которое определяет принцип выбора вариантов из множества B ;

t – тип ЗПР, который определяет требуемую степень упорядоченности сравниваемых вариантов.

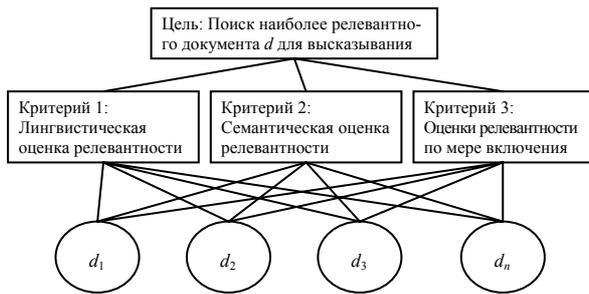


Рис. 1. Пример иерархии задачи идентификации сущности

Рассмотрим способ решения задачи идентификации сущности, как декомпозицию задачи на более простые составляющие части (далее – *составляющие методы*) и обработку множества векторных оценок составляющих методов [3].

Определим множество допустимых альтернативных вариантов:

$$B = D_v \cup z, \quad (2)$$

где: D_v – множество допустимых вариантов документов коллекции D , в соответствии с правилами выбора (например, имеющие общие термины с высказыванием V);

z – альтернативный вариант (маркер), указывающий на необходимость участия оператора системы (пополнение коллекции D , анализ истинности высказывания V , отнесение высказывания к совокупности экстенционально заданных, и т. д.).

Для установления относительной важности оценок составляющих методов иерархии используем обработку суждений лица, принимающего решение, методом парных сравнений по 9-балльной шкале доминирования одного критерия над другим [3]. В результате расчета правого собственного вектора матрицы парных сравнений, получим предпочтения критериев относительно цели.

$$W^E = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}.$$

Вычисление результирующего вектора приоритетов альтернатив относительно цели осуществляется путем перемножения вектора W^E на вектора приоритетов составляющих методов [3].

$$W^A = [W_1^M, W_2^M, \dots, W_n^M] W^E, \quad (3)$$

где: W^A – результирующий вектор приоритетов альтернатив относительно цели;

W_i^M – вектор приоритетов альтернатив составляющего метода $M_i, i = 1..n$;

n – число составляющих методов.

Рассмотрим составляющий метод лингвистической оценки релевантности высказывания V документу коллекции D . Введем ограниче-

ние, что высказывание V и документ d должны иметь хотя бы один общий терм.

Определим множество критериев лингвистической оценки, для этого воспользуемся эмпирическими наблюдениями:

чем чаще терм встречается в тексте документа, тем он более релевантен по отношению к сущности;

чем чаще терм встречается среди всех документов коллекции, тем хуже он отражает различие между документами (сущностями);

если некоторый терм высказывания V не встречается в документах, то он указывает на вариант z . Наличие в терме цифр или последовательности (более трех) согласных букв указывает на смешанный или экстенциональный способ задания сущности;

оценку релевантности высказывания V документу d можно рассматривать как композицию оценок релевантности термов V .

Произвольное высказывание состоит из термов $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$. Зададим множество оценок альтернативных вариантов.

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{m1} & k_{m2} & \dots & k_{mn} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где: k_{ij} – оценка $[0,1]$ альтернативы b_j по терму $v_j, i = 1..n, j = 1..m$;

n – число термов высказывания V ;

m – число альтернативных вариантов B .

Альтернативный вариант z имеет порядковый номер 1.

Альтернативный вариант z указывает на неопределенность (для экспертной системы) высказывания V . Пусть имеется группировка

$Y = \{y | y \text{ обладает свойством определенности}\}$, где: y_1 – "терм не встречается в документах или словарях системы";

y_2 – "терм встречается в документах, но отсутствует в словарях системы";

y_3 – "терм встречается в документах, известно его семантическое значение, но не известны синонимы";

y_4 – "терм встречается в документах, известно его семантическое значение и множество синонимов".

В этом случае возможно задание шкалы для z_i как дополнение значения определенности терма v_i [2]. В данной статье ограничимся значениями верхней и нижней границей значения неопределенности.

Для $j = 1$ зададим

$$k_{i,1} = \begin{cases} 0, & \text{если } \sum_{j=2..m} k_{ij} \neq 0 \\ 1, & \text{если } \sum_{j=2..m} k_{ij} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Для $j = 2 \dots m$, значение матрицы

$$k_{ij} = \frac{|d_j^i \cap d_j|}{|d_j|} = \frac{|d_j^i|}{|d_j|}, \quad (6)$$

где: d_j – документ (множество высказываний) альтернативного варианта b_j ;

d_j^i – документ (множество высказываний), содержащих терм v_i . Документ является подмножеством $d_j^i \subseteq d_j$. Если терм v_i не содержится в документе d_j , то $d_j^i = \emptyset$, следовательно $k_{ij} = 0$.

Значение k_{ij} , для $j = 2 \dots m$, является мерой включения документа d_j^i в документ d_j , что отражает "типичность" использования термина v_i для обозначения b_j альтернативного варианта [4].

Вектор $G = \{g_1, g_2 \dots g_n\}$, зададим следующим образом:

$$g_i = \begin{cases} 1, & \text{если } |D^i| \leq Q \\ \frac{Q}{|D^i|}, & \text{если } |D^i| > Q \end{cases} \quad (7)$$

где: $Q \in \mathbb{N}$ – положительное целое число, определяющее наибольшее допустимое количество документов, имеющих общий терм. Пороговое значение Q задается в зависимости от предметной области;

D^i – множество документов, содержащих терм v_i .

Вектор $H = \{h_1, h_2 \dots h_n\}$ является ранжированием термов по их способности взаимного различия документов. Вектор обладает свойством

$$\sum_{i=1..n} h_i = 1. \quad (8)$$

Нормировав вектор G , получим:

$$h_i = \frac{g_i}{\sum_{k=1..n} g_k}. \quad (9)$$

В качестве правила выбора лучшей альтернативы лингвистического анализа рассмотрим следующие методы:

1. Многокритериальный выбор альтернатив на основе максиминной свертки [4];

2. Многокритериальный выбор альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения [4];

3. Метод анализа иерархий [4];

4. Векторная модель определения приоритетов.

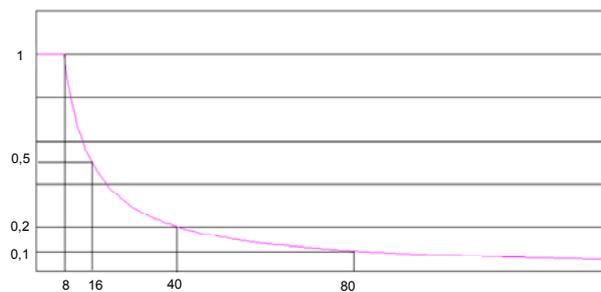


Рис. 2. Зависимость значения g_i от мощности множества D^i

Векторная модель основана на измерении длины вектора в многомерном евклидовом пространстве. Большая длина вектора соответствует более предпочтительной альтернативе. Матрица K может быть представлена как множество векторов альтернатив в пространстве критериев. Вектор приоритетов критериев H масштабирует проекции векторов на соответствующие оси, изменяя длину векторов альтернатив. Значения приоритетов альтернатив рассчитываются по формуле:

$$w_j = \sqrt{\sum_{i=1..n} (k_{ij} * h_i)^2}, j = 1..m. \quad (10)$$

На рис. 3 рассматриваются два альтернативных варианта (например, автомобили) и два критерия: "экономичность" и "надежность". На левом графике вектор $a2$ имеет большую длину благодаря высокой надежности. Если критерий "экономичность" ($h_2 = 0.7$) является более важным, чем критерий "надежность" ($h_1 = 0.3$), то в результате масштабирования проекций произойдет поворот векторов в сторону оси "экономичность", с изменением соотношения их длин (на правом графике вектор $a1$ длиннее, чем вектор $a2$).

Сравнение эффективности методов производилось на тестовом наборе из 800 высказываний принадлежащих одному Издателю. В результате прогона программной системы идентификации сущности с разными методами, фиксировалось совокупное время анализа и количество релевантных двоек $\langle V, d \rangle$ в выборке размером 50 пар, имеющих наивысший приоритет.

Наилучший показатель у векторной модели. Неплохой показатель у метода многокритериального выбора альтернатив на основе максиминной свертки. Многокритериальный выбор альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения оказался самым медленным и непродуктивным. Для одного высказывания, при наличии 700 альтернатив и 11 критериев (пример из эксперимента), объем вычислений составляет приблизительно $7 * 10^6$ математических операций (квадратичная зависимость объема вычислений от числа альтернатив).

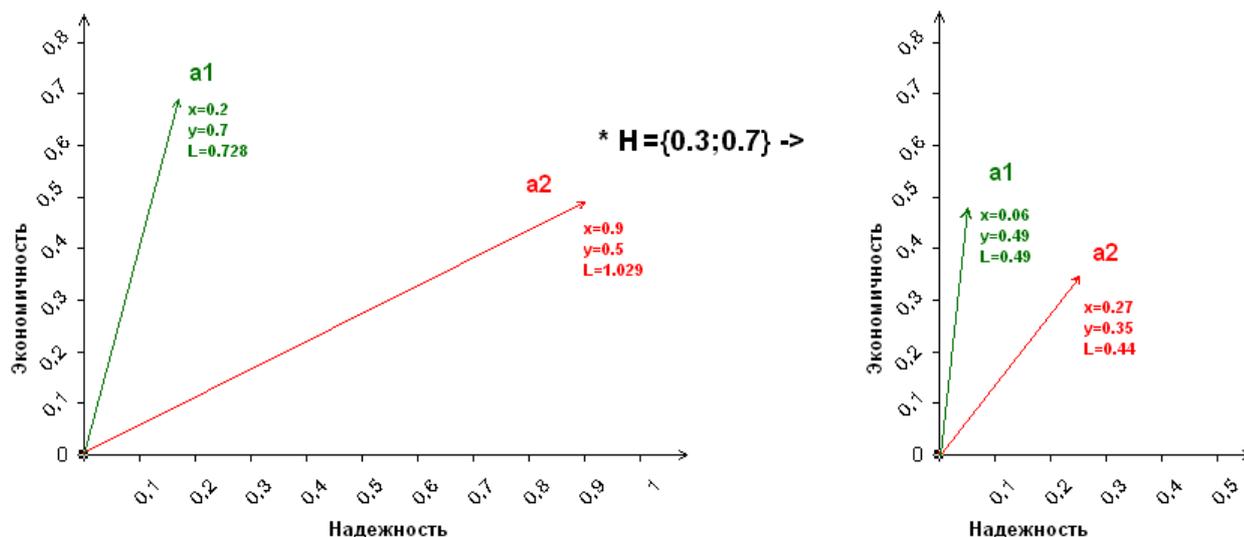


Рис. 3. Изменение соотношения длин векторов при масштабировании проекций

Таблица 1

| Правило выбора наилучшей альтернативы. | Совокупное время анализа | Количество релевантных двоек в выборке | Субъективная (неформальная) оценка |
|---|--------------------------|--|---|
| Многокритериальный выбор альтернатив на основе максиминной свертки | 1 ч. 55 мин. | 13 | Плохая "проработка деталей". |
| Многокритериальный выбор альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения | 8 ч. 40 мин. | 9 | Метод показал самые худшие результаты. |
| Метод анализа иерархий | 1 ч. 49 мин. | 10 | Несмотря на "схожесть" с векторной моделью, качество выборки значительно ниже. |
| Векторная модель определения приоритетов | 1 ч. 50 мин. | 17 | "Плотность" релевантных пар упорядочена в соответствии со шкалой приоритетов альтернатив. |
| Без лингвистического анализа высказываний (используются "прочие методы") | 1 ч. 46 мин. | 6 | |

У остальных методов объем вычислений, при тех же исходных данных, составляет примерно $4 \cdot 10^4$ математических операций (линейная зависимость объема вычислений от числа альтернатив и критериев). Под математическими операциями здесь понимаются бинарные операции сложения, вычитания, умножения, возведения в степень и т. д.

Выводы:

1. Задача идентификация сущности эффективно решается при декомпозиции на составные части.

2. Методы многокритериального выбора альтернатив применимы для оценки релевантности высказываний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бердник В. Л., Заболеева-Зотова А. В. Задача идентификации сущности заданной слабоструктурированным текстом // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. Сб. научн. Ст. № 2(28) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007.
2. Новак В., Перфильева И., Мочкорж И. Математические принципы нечеткой логики / Пер. с англ.; Под ред. Аверкина А. Н. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 352 с.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
4. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения). – М.: Машиностроение, 1998. – 476 с.

УДК 004.942

В. Л. Бердник, А. В. Заболева-Зотова

СЕМАНТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫСКАЗЫВАНИЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СУЩНОСТИ

Волгоградский государственный технический университет (bwlg@inbox.ru, zabzot@vstu.ru)

В работе выполнена разработка модели высказывания идентификации сущности как сложной строковой системы, рассмотрены практические вопросы автоматического анализа нового информационного объекта – высказывания идентификации сущности, такие как выделение подсистем на основе родового признака, представленного определяющим предикатом.

Ключевые слова: домен определяющих предикатов, система понятий идентификации сущности, контейнер определяющего предиката.

V. L. Berdник, A. V. Zaboлева-Zotova

SEMANTIC ANALYSES OF PREDICATE IDENTIFICATION ESSENCE NAME.

In this work is prepared identification essence expression model as complex string system. The article describes practical problem of automatic analyses of identification essence expression as new information object. Particularly, subsystem selection by generic indication as crucial predicate is considered.

Crucial predicate domain, notion system of identification essence.

Эта статья является продолжением работы [1]. В ней формально ставится задача идентификации сущности, рассматриваются закономерности и семантический состав используемых естественно-языковых конструкций. Для целостности изложения, укажем основные определения.

Высказывание идентификации сущности (далее – высказывание) – символьная строка конечной длины, содержащая естественно-языковую конструкцию. Такая строка должна идентифицировать сущность, либо группу семантически близких сущностей, воспринимаемых, согласно предметной области, как единое явление.

Примеры высказываний идентификации сущности.

- Переходник клавиатуры AT->PS/2;
- Мат. плата Socket-AM2 MSI K9N SLI-2F (nVIDIA nForce 570SLI) ATX.
- Коаксиальный волновод с азимутально-намагниченным гиротропным наполнителем.

Термины "сущность" и "предикат" в данной работе наиболее точно соответствуют определению термина "сущность", данному в [6]. "Предикат" понимается здесь только как постоянный предикат сущности, хотя он и синонимичен слову "подлежащее". Это обусловлено особенностью высказывания идентификации сущности, а именно отсутствием в нем указания действия, и как следствие, подлежащего.

Универсальное множество *предикатов сущностей* C состоит из двоек:

$$C = \{ \langle x, y \rangle \},$$

где: x – унарный предикат, определяющий отношение "иметь значение", характеризует свойство выбора одной из альтернативных сущностей (экземпляр сущности). Например, сущность "цвет" определяется значениями ($I_1 = \text{красный}$, $I_2 = \text{синий}$, $I_3 = \text{зеленый}$), фрагмент текста "зеленый цвет" – $C = I(\text{цвет})(x(I_3))$;

y – идентификатор совокупности альтернативных сущностей (далее – *домен предиката*). Совокупность альтернативных сущностей может быть первичной (например, "цвет" принимает значения {красный, синий, зеленый...}), или являться индексом (ссылкой) на подмножество S (например, множество принтеров, с которыми совместим картридж).

Введем множество $O \subset C$ определяющих предикатов S , следующим образом.

$$((\exists y \forall x O = \{ \langle x, y \rangle \} O \subset C) (\forall s = \gamma(C_s)) [O \cap C_s \neq \emptyset])$$

где: C_s – множество предикатов идентифицирующих сущность s ;

γ – функция идентификации сущности s , заданной множеством предикатов $\gamma : C_s \Rightarrow s$.

Наиболее важные их свойства:

сущность имеет хотя бы один определяющий предикат;

все они принадлежат единому *домену определяющих предикатов*.

В высказываниях маркетинговых исследований в качестве определяющего предиката можно выделить вид продукта или изделия. Например, высказывание "Коаксиальный волновод с азимутально-намагниченным гиротропным наполнителем" имеет значение определяющего предиката $o = \{ \text{"волновод"} \}$.

Следует отметить, что задача идентификации сущности тесно связана с задачей поиска текстовых единиц на основе поверхностного синтаксического анализа текста [3]. В частности, многоцелевая система Alex [2] разработанная Российским НИИ Искусственного Интеллекта позволяет выделять на основе шаблонов, атрибуты идентифицируемой сущности. Несмотря на использование для анализа достаточно сходных корпусов текстов (описание компьютерных комплектующих), отличается дальнейшее использование полученных атрибутов:

для описания изделия или его идентификации.

Целью данной работы является разработка эффективных методов поиска идентичных высказываний, с целью сопоставления номенклатурных списков. Способы выделения текстовых единиц в статье не указываются.

Рассматривая высказывание идентификации сущности как систему понятий, можно выделить следующие свойства:

1. Сложноструктурированность [4].

1.1. Иерархичность. Вершиной иерархии является некоторая система определяющих предикатов. Листьями иерархии являются первичные унарные предикаты.

1.2. Разный состав и система соотношений предикатов для разных ветвей иерархии.

1.3. Идентификация сущности как система дефиниций согласуется с некоторой более общей системой дефиниции (например, корпоративными правилами именований), а также акцентирует индивидуальные особенности предмета.

2. Избыточность и дефицит указания в высказывании различных атрибутов сущности.

Между предикатами можно выделить следующие виды отношений:

1. Аддитивное отношение $ADD(o(I); o_1(I), o_2(I), \dots)$. Расширяет функциональный или компонентный состав определяющего предиката $o(I)$ сущности на значение предиката $o_j(I)$.

2. Конъюнктивное отношение $AND(o(I); x_1(I), x_2(I), \dots)$. Задаёт значение атрибута определяющего предиката $o(I)$, равного значению унарного предиката $x(I)$.

3. Дизъюнктивное отношение $OR(x_1(I), x_2(I), \dots)$. Предназначено для задания атрибута разными, альтернативными способами. Эквивалентно заданию *понятия*, через обобщение, выделение предметов некоторого класса по определенным общим и в совокупности специфическим для них признакам [6].

4. Ассоциативное отношение $ASS(o(I))$. Задаёт значение атрибута через определение некоторой другой сущности или некоторого класса сущностей, имеющих некоторый общий и специфичный признак.

Как указывалось выше, в высказываниях отсутствует выражение действия, и задание признака ситуативным способом не используется. Такой подход близок идеям работы [5].

Рассмотрим следующий содержательный пример: *"Набор, фотобумага LOMOND и картридж T036140 для Stylus C42Plus/ C42S/ C42SX/ C42UX (черн.)"*.

Представим в виде набора контейнеров, допускающих вложенность одного в другой:

```
[ESS "набор"]
  [ADD "фотобумага"] <AND
"LOMOND"></AND> [/ADD]
  [ADD "картридж"]
    <AND>
      <OR "T036140"> </OR>
      <OR>
        [ASS "принтеры"]
          <AND "Stylus"> </AND>
          <AND>
            <OR "C42Plus"></OR>
            <OR "C42S"></OR>
            <OR "C42SX"></OR>
            <OR "C42UX"></OR>
          </AND>
        [/ASS]
      </OR>
    </AND>
  <AND "черн."> </AND>
[/ADD]
[/ESS]
```

где контейнер – это конструкция вида:

```
<тег> тело контейнера </тег>.
```

Контейнеры, использующие скобки [] отличаются от обычных контейнеров (использующих скобки <>) тем, что они задают область действия определяющего предиката (далее – **контейнер определяющего предиката, КОП**);

тег ESS – задаёт границы контейнера описания сущности, и является контейнером определяющего предиката;

тег ADD – обязательный элемент контейнера ESS. Является контейнером определяющего предиката. Обозначает добавление некоторой составляющей (более простой сущности) в набор. Для универсализации модели описания, принято, что сущность – всегда набор, который может иметь одну или множество составляющих;

тег AND – указание признака, соотносённо с определяющим предикатом. Тело контейнера содержит уточняющую часть признака.

тег OR – может использоваться только внутри контейнера AND. Уточняет значение контейнера AND через обобщение.

тег ASS – задаёт область действия локального определяющего предиката. Задаёт признак через указание некоторой другой сущности. Является контейнером определяющего предиката.

Действительно, в примере, набор состоит из двух предметов: фотобумаги и картриджа. Для фотобумаги задано только название производителя. Картридж может идентифицироваться условно-кодovým обозначением "T036140", или указанием совместимости с каким-либо видом принтеров.

Следует отметить зависимость семантики термина от принадлежности к контейнеру определяющего предиката. Так, терм "черн." может принадлежать КОП "набор" и обозначать цвет упаковки, или принадлежать КОП "картридж" и обозначать тип картриджа. Омонимия термина разрешается через принадлежность к контейнеру определяющего предиката.

Неоднозначность отнесения термина может возникать в тексте высказывания только на границах между контейнерами определяющих предикатов (в т. ч. при их вложенности). Действительно, если предположить, что, какой-либо терм вне границы контейнеров может быть отнесен к другому контейнеру, то, как следует из указанного ниже примера, приведет к невозможности правильного понимания текста.

Пример:

"Многоэтажный монолитный дом, 9 этажей, с комфортабельным пентхаузом".

В случае переноса термина, получим

"Многоэтажный дом, 9 этажей, с комфортабельным монолитным пентхаузом".

Грамматический анализ высказывания идентификации сущности должен включать следующие действия:

1. Восстановление состава и структуры дерева определяющих предикатов высказывания.

2. Анализ границ (окна) контейнеров определяющих предикатов в тексте высказывания.

3. Выделение и обработка в пределах контейнера текстовых единиц (например, "128 Мб"), ус-

тойчивых словосочетаний ("western digital") и составных слов ("светло-коричневый").

4. Задание терминам высказывания термина предиката и семантического значения в соответствии с текущим КОП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бердник В. Л., Заболеева-Зотова А. В. Задача идентификации сущности заданной слабоструктурированным текстом // Известия Волгоградского Государственного технического университета: межвуз. сб. науч. Ст. № 2(28) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – 120 с.

2. Жигалов В. А., Жигалов Д. В., Жуков А. А., Кононенко И. С., Соколова Е. Г., Толдова С. Ю. Система Alex как средство для многоцелевой автоматизированной обработки текстов. // "Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии". Труды Международного семинара Диалог'2002.– Т. 2: Прикладные проблемы – М.: Наука, 2002.

3. Большакова Е. И., Баева Н. В., Бордаченкова Е. А., Васильева Н. Э., Морозов С. С. Лексико-синтаксические шаблоны в задачах автоматической обработки текста. // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. Труды Международной конференции "Диалог-2007". – М. Изд-во РГГУ, 2007.

4. Вагин В. Н., Головина Е. Ю., Загорянская А. А., Фомина М. В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / Под. ред. В. Н. Вагина, Д. А. Поспелова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 704 с.

5. Семенова С. Ю. Если семантический класс широк для слова (к представлению лексики в машинном словаре) // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. Труды Международной конференции "Диалог-2007". – М. Изд-во РГГУ, 2007.

6. Большой энциклопедический словарь / Гл. ред. А. М. Прохоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – 1433 с.

УДК 621.376

П. В. Жильцов

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ С ЦИФРОВЫМИ МЕТОДАМИ МОДУЛЯЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕДУРЫ ВЫБОРА АДАПТИВНОГО ТИПА

Московский энергетический институт (технический университет) (cad@vstu.ru)

Цель данной работы состоит в определении оптимальных сигналов с современными цифровыми методами модуляций для применения в системах передачи данных (СПД) с конкретными требованиями к построению. В этой связи в работе вводятся показатели качества сигналов, для которых затем определяются их количественные оценки путем имитационного моделирования в пакете LabVIEW. Далее определяется модель многокритериального выбора и производится сравнение сигналов между собой при определенных критериальных требованиях.

Ключевые слова: цифровые методы модуляции, адаптивный выбор, имитационное моделирование в LabVIEW.

P. V. Zhiltsov

SELECTION OF OPTIMAL SIGNALS WITH DIGIT MODULATION METHODS USING AN ADOPTIVE SELECTION PROCEDURE

The matter of the present paper is detection of optimal signals with the up-to-date digit modulation methods [1, 2, 3] for using them in data transmission systems with certain requirements for construction. Because of it indexes of the signal quality are introduced in the paper; quantitative estimations of the indexes are computed using simulating in LabVIEW. After all the model of multicriteria selection is described and the signals are compared with each other under the given criteria requirements.

Digit modulation methods, adoptive selection, simulating in LabVIEW.

Цель данной работы состоит в определении оптимальных сигналов с современными цифровыми методами модуляций [1, 2, 3] для применения в системах передачи данных (СПД) с кон-

кретными требованиями к построению. В этой связи в работе вводятся показатели качества сигналов, для которых затем определяются их количественные оценки путем имитационного

моделирования в пакете LabVIEW [4]. Далее определяется модель многокритериального выбора и производится сравнение сигналов между собой при определенных критериальных требованиях.

В работе рассматриваются сигналы с цифровыми модуляциями ФМ-4, $\pi/4$ -ОФМ-4, КАМ-4, КАМ-16, ЧМ-4 1/Т, ЧМ-4 1/2Т, СМП-4, СНФ-4 Sin 0,25, СНФ-4 Sin 0,125, СНФ-4 Tri 0,25, СНФ-4 Tri 0,125, ММС. Для осуществления сравнения введены показатели качества (ПК):

- **ПК1** (мин.) – Отношение С/Ш сигнала на входе приемника, требуемое для достижения вероятности битовой ошибки $P_b = 10^{-4}$;

- **ПК2** (макс.) – Отношение битовой скорости передаваемой сигналом информации к полосе частот, в которой содержится 95 % энергии сигнала;

- **ПК3** (макс.) – Коэффициент прямоугольности формы спектральной плотности мощности сигнала – определяется как отношение полос, в которых содержится соответственно 50 % и 95 % всей энергии сигнала;

- **ПК4** (мин.) – Устойчивость к воздействию входных нелинейных (НЛ) безинерционных цепей – определяется как приращение $\Delta_{СШ}$ отношения С/Ш с целью сохранения вероятности ошибочного приема при воздействии входной нелинейности приемника вида $\text{Arctan}(5^*x)$;

- **ПК5** (макс.) – Устойчивость к воздействию импульсной помехи – определяется амплитудой импульса $A_{\text{имп}}$ при фиксированных ширине импульса и времени его начала относительно символьного интервала;

- **ПК6** (макс.) – Устойчивость к воздействию селективной помехи – определяется амплитудой радиоимпульса $A_{\text{сел}}$ при фиксирован-

ных ширине импульса и времени его начала относительно символьного интервала;

- **ПК7** (макс.) – Потенциальная выгода при увеличении алфавита сигнала – минимальное расстояние $d_{\text{эф}}$ от точки на плоскости до кривой – теоретическому пределу, задаваемому теоремой Шеннона. Чем больше значение данного расстояния, тем большим потенциалом обладает сигнал.

Результаты имитационного моделирования прохождения сигналов через узлы и блоки СПД (количественная оценка по ПК1-ПК7) приведены в табл. 1.

Таким образом, для 12 сигналов, представляющих собой исходное множество альтернатив $\Omega = \{\omega_i\}, i = \{1, N\} N = 12$, назначено 7 ПК. Для осуществления выбора оптимальных сигналов при наличии определенных требований при построении СПД, необходимо определить модель выбора.

Так как все ПК независимы, и их количество сравнимо с количеством исходных альтернатив, то модели выбора априорного типа, подразумевающие постановку задачи на начальном этапе, здесь неэффективны, так как могут отсеять альтернативы, потенциально более сильные по другим ПК.

Апостериорного типа модели выбора, характеризующиеся вмешательством на завершающих этапах процедуры выбора, имеют большую информационную насыщенность и более гибкий подход по сравнению с моделями априорного типа, однако не являются многоступенчатыми в смысле уточнения стратегии по мере приближения к результату. Недостатки подобного рода могут быть учтены в адаптивных моделях выбора.

Таблица 1

| Обозначение альтернативы | Вид модуляции | E_b/N_0 , дБ | R/W , (бит/с*Гц) | $K_{\text{П}}$ | $\Delta_{\text{СШ}}$ | $A_{\text{имп}}$, В | $A_{\text{сел}}$, В | $d_{\text{эф}}$ |
|--------------------------|-----------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| | | ПК1 | ПК2 | ПК3 | ПК4 | ПК5 | ПК6 | ПК7 |
| ω_1 | ФМ-4 | 8,4 | 1,11 | 0,15 | 0 | 26,4 | 39 | 3,92 |
| ω_2 | $\pi/4$ -ОФМ-4 | 15,1 | 1,11 | 0,15 | 2,2 | 11,8 | 17,8 | 6,91 |
| ω_3 | КАМ-4 | 8,4 | 1,11 | 0,15 | 1 | 26,4 | 39 | 3,6 |
| ω_4 | КАМ-16 | 13,0 | 4,44 | 0,15 | 20 | 6,5 | 1,5 | 3,74 |
| ω_5 | ЧМ-4 1/Т | 5,5 | 0,28 | 0,53 | 0 | 33,1 | 4,5 | 2,63 |
| ω_6 | ЧМ-4 1/2Т | 8,7 | 0,38 | 0,37 | 0 | 33,6 | 3,8 | 4,77 |
| ω_7 | СМП-4 | 8,9 | 3,33 | 0,45 | 3,8 | 29 | 6,3 | 2,04 |
| ω_8 | СНФ-4 Sin $m = 0,25$ | 13,2 | 2 | 0,4 | 0 | 42 | 3,4 | 5,23 |
| ω_9 | СНФ-4 Sin $m = 0,125$ | 19,4 | 4 | 0,67 | 0 | 23,5 | 1,7 | 5,73 |
| ω_{10} | СНФ-4 Tri $m = 0,25$ | 13,2 | 2 | 0,4 | -0,6 | 31 | 2,7 | 5,01 |
| ω_{11} | СНФ-4 Tri $m = 0,125$ | 22,4 | 4 | 0,67 | 0 | 18,2 | 1,4 | 5,56 |
| ω_{12} | ММС | 5,3 | 1,1 | 0,36 | 0 | 472 | 8,1 | 2,07 |

В основе адаптивных процедур многокритериального выбора [5] лежит идея разделения общей задачи на несколько подзадач с промежуточными решениями, которые анализируются на каждом этапе, и дальнейшие шаги предпринимаются с учетом полученных промежуточных результатов. Рассматриваемая задача может быть сформулирована как описание аппарата целевых постановок выбора альтернатив через частично упорядоченные показатели качества.

Примером процедуры выбора адаптивного типа является комбинированная $S\pi L$ -постановка [5], которая основана на декомпозиции исходного множества $\{k_l\}$, $l = \{1, M\}$, $M = 7$ рассматриваемых ПК на r : $1 \leq r \leq M$ подмножеств, внутри каждого из которых ПК имеют одинаковый приоритет. Сами подмножества ПК связаны отношением линейного порядка по возрастанию приоритетов их групп. Такое разбиение может быть сформулировано в виде комбинаций S -, π - и L -постановок.

Таким образом, комбинированная $S\pi L$ -постановка состоит из следующих этапов.

1. Выбор надсистемных метакритериев, в пространстве которых оценивается значимость самих ПК. Примером таких метакритериев могут служить эффективность, стоимость, экологичность, эстетичность и т. д.

2. Формирование частичного порядка ПК по каждому из метакритериев.

3. Формирование общего порядка ПК в пространстве метакритериев (L -постановка). При этом, если некоторые ПК несравнимы, то они образуют S - или π -постановки. Запись комбинированной $S\pi L$ -постановки выглядит следующим образом:

$L(\Omega / \langle S\{k_1, \dots, k_p\}, k_{p+1}, \dots, \pi\{k_s, \dots, k_{s+g}\}, k_f \rangle)$, где " $\langle \rangle$ " обозначает линейный порядок убывания, а " $\{ \}$ " обозначает несравнимые варианты.

4. Последовательное решение задачи с поэтапным анализом промежуточных результатов и корректировкой.

Ввиду высокой разности свойств сигналов с различными видами цифровых модуляций, для осуществления выбора далее использована комбинированная $S\pi L$ -постановка.

Определим задачи выбора оптимальных сигналов при различных требованиях к СПД.

Задача 1 – Отсутствие специальных требований (нет предпочтений по ПК1-ПК7).

Задача 2 – ПК1 и ПК2 – равнозначные и предпочтительны по сравнению с остальными ПК.

Задача 3 – Условия сильных импульсных и селективных помех (предпочтение по ПК5 и ПК6).

Задача 4 – Условия уплотнения полосы (предпочтение по ПК2 и ПК3).

Определим оптимальный сигнал для задачи 1. В условиях отсутствия предпочтений к ПК, выберем надсистемные метакритерии, в пространстве которых будем оценивать значимость самих ПК:

- *эффективность* (Θ) – степень влияния ПК на процесс передачи данных через приемопередающие тракты и канал связи;

- *стоимость* (C) – условная стоимость, включающая в себя различные экономические затраты на обеспечение данного ПК.

Далее применим метод экспертных оценок и назначим каждому ПК весовые значения в пространстве метакритериев Θ и C (см. табл. 2).

Таблица 2

| | | ПК1 | ПК2 | ПК3 | ПК4 | ПК5 | ПК6 | ПК7 |
|----------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Задача 1 | Θ | 20 | 20 | 12 | 6 | 15 | 15 | 12 |
| | C | 5 | 5 | 20 | 30 | 10 | 10 | 20 |

Решением метакритериальной постановки является следующая последовательность, расположенная в степени убывания важности ПК:

$\langle \{ПК1, ПК2\}, \{ПК5, ПК6\}, \{ПК3, ПК4\}, \{ПК7\} \rangle$.

При этом несравнимые ПК (ПК1 и ПК2, ПК5 и ПК6, ПК3 и ПК4) приводят к π -постановкам, а ПК7 – к L -постановке.

Решением задачи выбора среди исходного множества альтернатив в π -постановке являются следующие последовательности, расположенные в порядке убывания:

- для ПК1-ПК2 (см. рис. 1)

$$\Omega_{ПК1-ПК2} = \langle \{\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_7, \omega_{12}\}, \{\omega_5, \omega_6, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}\}, \{\omega_2, \omega_{11}\} \rangle;$$

- для ПК5-ПК6 (см. рис. 2)

$$\Omega_{ПК5-ПК6} = \langle \{\omega_1, \omega_3, \omega_{12}\}, \{\omega_2, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8\}, \{\omega_{10}\}, \{\omega_9\}, \{\omega_4, \omega_{11}\} \rangle;$$

- для ПК3-ПК4 (см. рис. 3)

$$\Omega_{ПК3-ПК4} = \langle \{\omega_9, \omega_{10}, \omega_{11}\}, \{\omega_5\}, \{\omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_{12}\}, \{\omega_1, \omega_3\}, \{\omega_2\}, \{\omega_4\} \rangle.$$

При этом $\langle \{\omega_7, \omega_8\}, \{\omega_6\}, \{\omega_{12}\} \rangle$ было скорректировано в $\langle \{\omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_{12}\} \rangle$ ввиду близости расположения альтернатив (см. рис. 3). В этом и проявляется адаптивность модели выбора;

- для ПК7

$$\Omega_{ПК7} = \langle \{\omega_2\}, \{\omega_9\}, \{\omega_{11}\}, \{\omega_8\}, \{\omega_{10}\}, \{\omega_6\}, \{\omega_1\}, \{\omega_4\}, \{\omega_3\}, \{\omega_5\}, \{\omega_{12}\}, \{\omega_7\} \rangle.$$

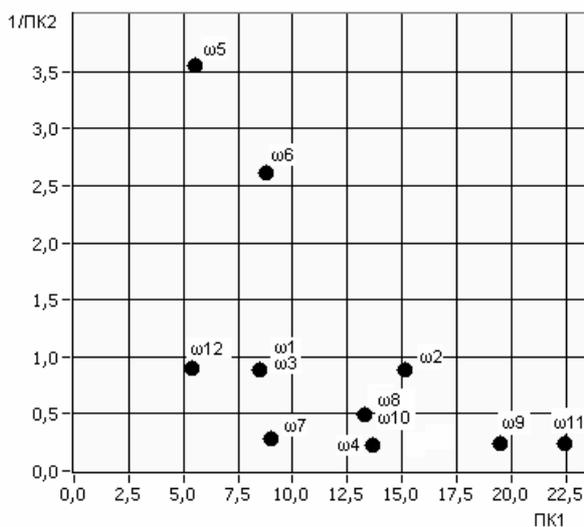


Рис. 1. Множество Ω на плоскости "ПК1 – 1/ПК2"

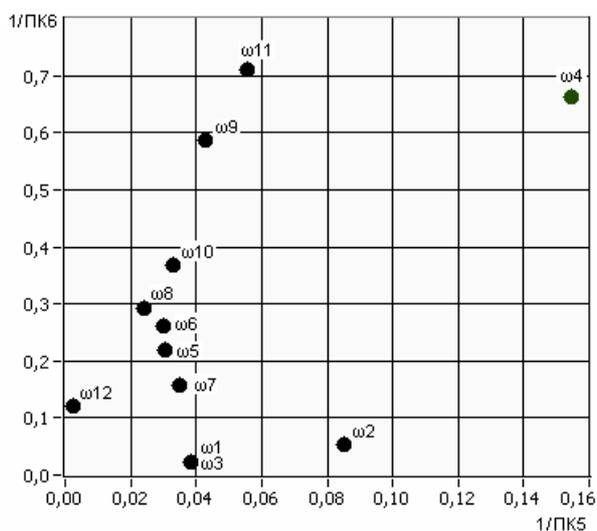


Рис. 2. Множество Ω на плоскости "1/ПК5 – 1/ПК6"

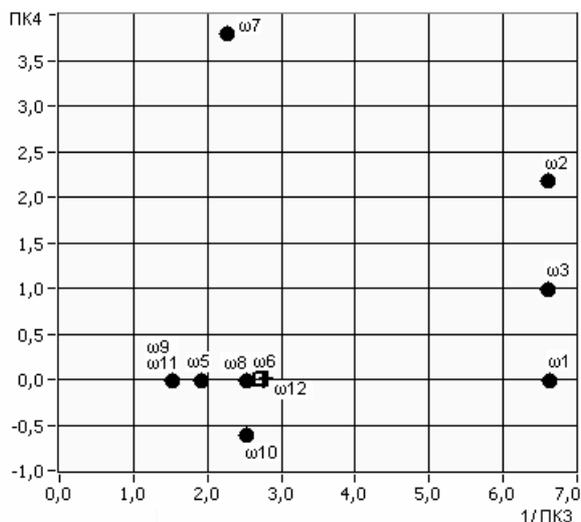


Рис. 3. Множество Ω на плоскости "1/ПК3 – ПК4"

Упорядочив $\Omega_{ПК1-ПК2}$ в условиях $\Omega_{ПК5-ПК6}$ получаем:

$$\Omega = \langle \{\omega_1, \omega_3, \omega_{12}\}, \{\omega_7\}, \{\omega_4\}, \{\omega_5, \omega_6, \omega_8\}, \{\omega_{10}\}, \{\omega_9\}, \{\omega_2\}, \{\omega_{11}\} \rangle$$

Затем упорядочим полученный ряд Ω в условиях $\Omega_{ПК3-ПК4}$:

$$\Omega = \langle \{\omega_{12}\}, \{\omega_1, \omega_3\}, \{\omega_7\}, \{\omega_4\}, \{\omega_5\}, \{\omega_6, \omega_8\}, \{\omega_{10}\}, \{\omega_9\}, \{\omega_2\}, \{\omega_{11}\} \rangle$$

Последним шагом упорядочим полученный ряд Ω в условиях $\Omega_{ПК7}$:

$$\Omega = \langle \{\omega_{12}\}, \{\omega_1\}, \{\omega_3\}, \{\omega_7\}, \{\omega_4\}, \{\omega_5\}, \{\omega_8\}, \{\omega_6\}, \{\omega_{10}\}, \{\omega_9\}, \{\omega_2\}, \{\omega_{11}\} \rangle$$

Вывод 1. Оптимальным сигналом среди рассмотренных в отсутствии специальных требований в условиях ПК1-ПК7 является сигнал с цифровой модуляцией ММС. За ним следуют сигналы ФМ-4, КАМ-4 и СМП-4. Причем сигналы ФМ-4 и КАМ-4 являются несравнимыми по ПК1-ПК2 и ПК5-ПК6 и проигрывают по ПК3 в 2,5 раза сигналу ММС.

Для других задач также были найдены оптимальные сигналы и сделаны выводы.

По результатам сравнения могут быть сделаны следующие выводы:

Вывод 2. При условии равнозначности помехозащищенности и эффективности использования полосы оптимальным является сигнал с цифровой модуляцией ММС. Если дать небольшой допуск, то выбор может быть расширен сигналом ЧМ-4 1/Т.

Вывод 3. Оптимальным с точки зрения применения в системах с повышенной устойчивостью к импульсным и селективным помехам является сигнал ММС, за которым вплотную (вплоть до последней постановки по ПК7) следуют ФМ-4 и КАМ-4.

Вывод 4. При построении систем передачи данных, главным требованием для которых является наиболее эффективное использование полосы, оптимальным является сигнал СМП, однако если действовать строго и убрать небольшой допуск на альтернативы, которые по другим ПК имеют больший вес, то в этом случае оптимальным является сигнал КАМ-16.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1104 с.
2. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. / Под ред. В. И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
3. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
4. Тревис Дж. LabVIEW для всех: Пер. с англ. Клушин Н. А. – М.: ДМК Пресс; Приборкомплект, 2004. – 544 с.: ил.
5. Кандырин Ю. В. Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 172 с.: ил.

УДК 004.8; 004.9

А. В. Заболева-Зотова, Ю. А. Орлова
**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА
 ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ**

Волгоградский государственный технический университет (zabzot@vstu.ru, yulia.orlova@gmail.com)

Целью исследования является повышение эффективности проектирования программного обеспечения за счет работки автоматизированной системы семантического анализа текста технического задания.

Ключевые слова: семантический анализ, текст, техническое задание.

A. V. Zaboljeva-Zotova, Y. A. Orlova

AUTOMATION OF PROCEDURES OF SEMANTIC TEXT ANALYSIS OF A TECHNICAL SPECIFICATION

The purpose of research is to increase of efficiency of software designing due to development of the automated system of semantic text analysis of a technical specification.

Semantic analysis, text, technical specification.

В настоящее время проектирование программного обеспечения представляет собой трудоемкий процесс, требующий от пользователя глубокого знания предметной области и навыков в проектировании.

Наиболее известные из коммерческих программных продуктов, используемых при проектировании программного обеспечения, в основном предназначены для визуализации промежуточных и конечных результатов процесса проектирования. Некоторые из них позволяют полностью автоматизировать последние этапы проектирования: генерация кода, создание отчетной и сопровождающей документации и т. д. При этом задача автоматизации начального этапа проектирования – формирования и анализа текста технического задания остается открытой. Это связано с необычайной сложностью проблемы синтеза и анализа семантики технического текста, для решения которой необходимо использовать симбиоз методов искусственного интеллекта, прикладной лингвистики, психологии и т. п. Однако, возможно приблизиться к достижению данной цели, выделив некоторые небольшие подзадачи, вполне доступные для решения известными методами трансляции.

Целью исследования явилось повышение эффективности проектирования программного обеспечения за счет разработки автоматизированной системы семантического анализа текста технического задания. Данная система состоит из следующих подсистем: предварительной обработки текста, синтаксического и семантического анализа и построения моделей программного обеспечения, хранения документов и интерфейс.

Архитектура разрабатываемой системы представлена на рис. 1.

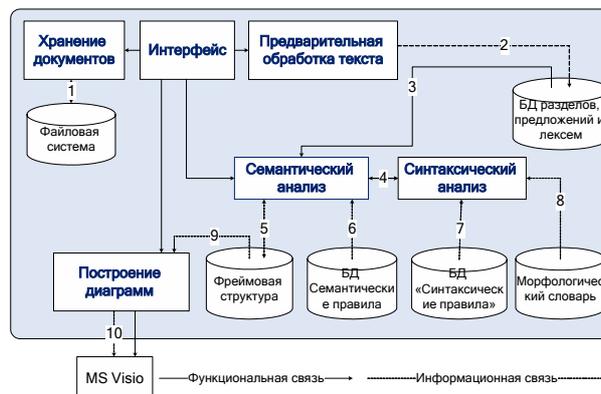


Рис. 1 Архитектура автоматизированной системы:

1 – файлы документов; 2, 3 – данные о разделах, предложениях и лексемах; 4 – синтаксические юниты, группы, клаузы; 5, 9 – фреймы; 6 – семантические правила; 7 – синтаксические правила; 8 – морфологические признаки; 10 – надписи и координаты фигур диаграмм

Предварительная обработка текста необходима для того, чтобы разделить исходный текст технического задания на отдельные лексемы. Входной информацией подсистемы является текст технического задания на ограниченном естественном языке, выходной информацией – таблицы разделов, предложений и лексем рассматриваемого технического задания. Результаты могут быть представлены как в виде соответствующих таблиц, так и в виде дерева разделов. Это позволяет легко находить ошибки в оформлении документа, если он не соответствует ГОСТам.

Предварительная обработка текста осуществляется с использованием аппарата конечных автоматов (см. рис. 2).

В ходе работы конечного автомата символы, поступающие на его вход, накапливаются в буфере. В определенных состояниях конечного автомата осуществляется запись текущего содержимого буфера в одну из таблиц, после чего буфер опустошается. Работа автомата продолжается до достижения конечного состояния.

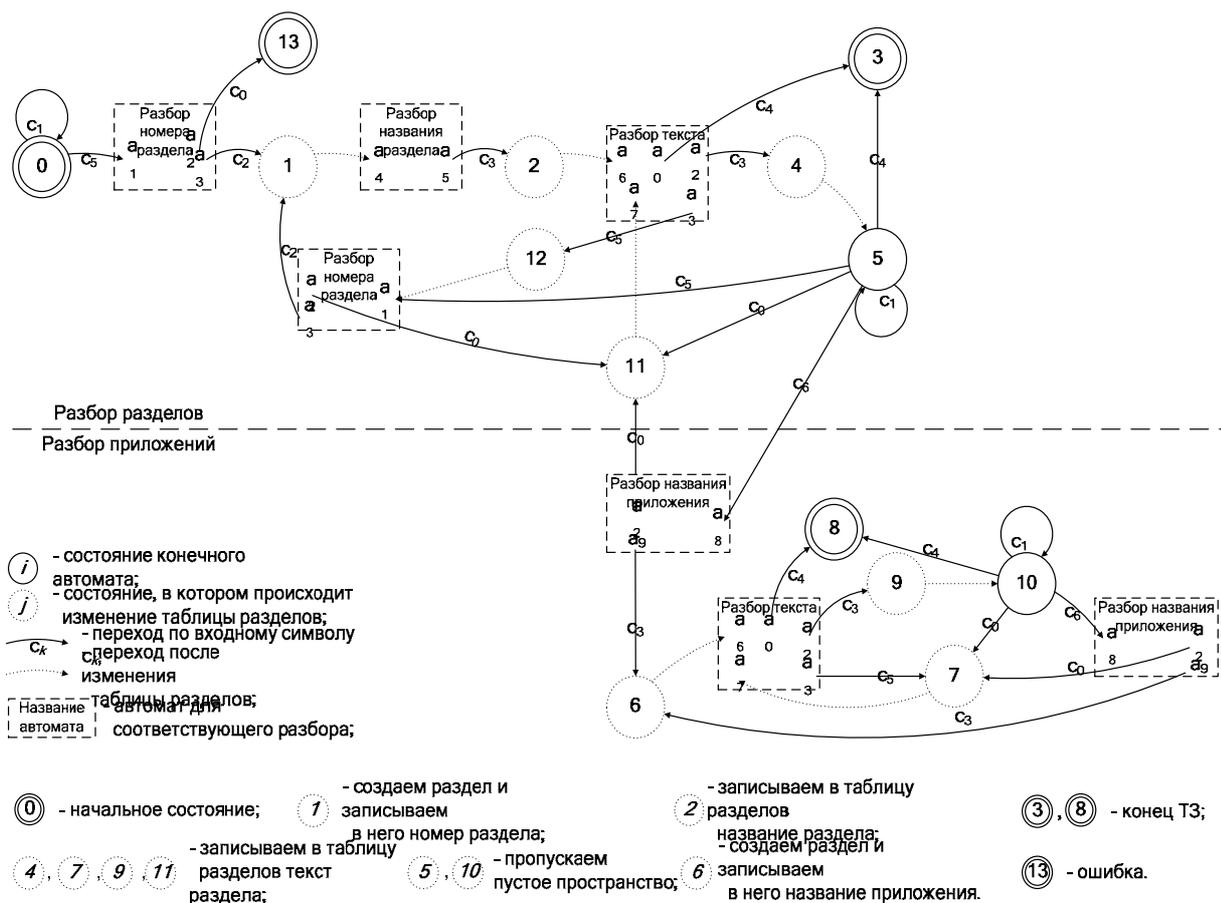


Рис. 2. Фрагмент автомата разбора текста технического задания

После этого полученные таблицы поступают на вход подсистемы синтаксического и семантического анализа. Семантический анализ текста производится на основе разработанной атрибутивной грамматики текста технического задания. Продукционные правила верхнего уровня служат для разбора разделов верхнего уровня. Правила для разбора разделов состоят из двух частей: первая часть служит для разбора названия раздела; вторая часть служит для разбора текстового содержимого раздела. Символы данной грамматики могут обладать синтаксическими атрибутами. В атрибутах нетерминальных символов указываются названия фреймов или названия слотов, в которые должна быть помещена информация, полученная в ходе дальнейшего разбора. В атрибутах терминальных символов могут быть дополнительно указаны синтаксические атрибуты текста. Сравнение слов при разборе производится с учетом их морфологии. В ходе разбора синтаксический и морфологический анализ производится только в том случае, если имеется такая необходимость, что значительно сокращается время выполнения семантического анализа.

Рассмотрим фрагмент разработанной атрибутивной грамматики, представленной в xml-формате:

```

... <global-rule id="Section42" comment =
"Раздел 4.2. Требования к функциональным характеристикам">
  <rule><ruleref uri="#Section42Name"/>
  </rule></global-rule>
  <global-rule id="Section42Name" sectionPart="Name"
comment= "Заголовок раздела 4.2."><rule><clause
clauseType="НЕОПРЕД"/><rule type="or"><words
contains="функции"/> <words contains= "функциональ-
ные характеристики"/> </rule></rule></global-rule>
  <global-rule id="Section42x" frame= "FunctionFrame"
frameSlot="Function" comment="Функция"><rule>
<ruleref uri="#Section42xName" /><ruleref
uri="#Section42xContent" /> </rule></global-rule>
  <global-rule id="Section42xContent" sectionPart=
"Content" comment="Входы и выходы функции">
<rule><ruleref uri= "#Section42xInputs" minOccurs=
"0"/><ruleref uri="#Section42xOutputs" minOccurs=
"0"/></rule></global-rule>
  <global-rule id="Section42xInputs" comment=
"Входы функции">
  <rule><sentence/><clause/><rule type="or"><words
contains="входы"/> <words contains="входные данные"/>
</rule><ruleref uri="#Input" maxOccurs="unbounded"/>
</rule></global-rule> ...
    
```

Морфологический и синтаксический модули, используемые в программе, являются модулями стороннего разработчика. Если в правиле грамматики встретился терминал, имеющий синтаксический атрибут, то запускается механизм синтаксического анализа для текущего разбираемого предложения.

После создания дерева разбора начинается построение фреймового описания технического задания. Для этого используется информация о фреймах и названиях слотов, которая содержится в атрибутах символов грамматики.

Полученная фреймовая структура содержит значимую информацию о системе: сведения о входах и выходах системы, функциях и ограничениях. Для каждой функции также выделяются входы и выходы. Это позволяет на основе фреймовой структуры получить диаграммы потоков данных системы, которая описана в техническом задании.

Фреймовая структура представлена в виде: $R = \langle N_R, F_R, I_R, O_R \rangle$, где N_R – название системы, I_R – вектор входных воздействий, O_R – вектор выходных воздействий, $F_R = \langle N_F, I_F, D_F, G_F, H_F, O_F \rangle$ – вектор функций системы, N_F – имя функции, I_F – вектор входных воздействий функции F , D_F – название действия, выполняемого функцией, G_F – объект, над которым выполняется действие, H_F – ограничения на функцию F , O_F – вектор выходных воздействий функции F .

Фрагмент фреймовой структуры для автоматизированной системы расчета локальной сети представлен в следующей таблице:

| | |
|----------|---|
| $-R$ | |
| N_R | Автоматизированная система расчета локальной сети |
| I_{IR} | $-DF_1$ |
| | N_{DF1} План помещений |
| | T_{DF1} - |
| | C_{DF1} Файл |
| I_{2R} | $+DF_2$ |
| ... | |
| O_{IR} | $+DF_5$ |
| ... | |
| F_{IR} | $-F_1$ |
| | N_{F1} Определение оптимальных путей между устройствами |
| | I_{IF1} |
| | N_{DF6} Координаты устанавливаемых устройств и оборудования |
| | T_{DF6} структур типа Точка |
| | C_{DF6} Массив |
| ... | |
| | D_{F1} Определение |
| | G_{F1} Оптимальных путей между устройствами |
| | H_{F1} - |
| | O_{IF1} |
| | $-DF_8$ |
| | N_{DF8} Участки кабеля без изгибов |
| | T_{DF8} структур тип Отрезок |
| | C_{DF8} Массив |
| F_{2R} | $+F_2$ |
| ... | |

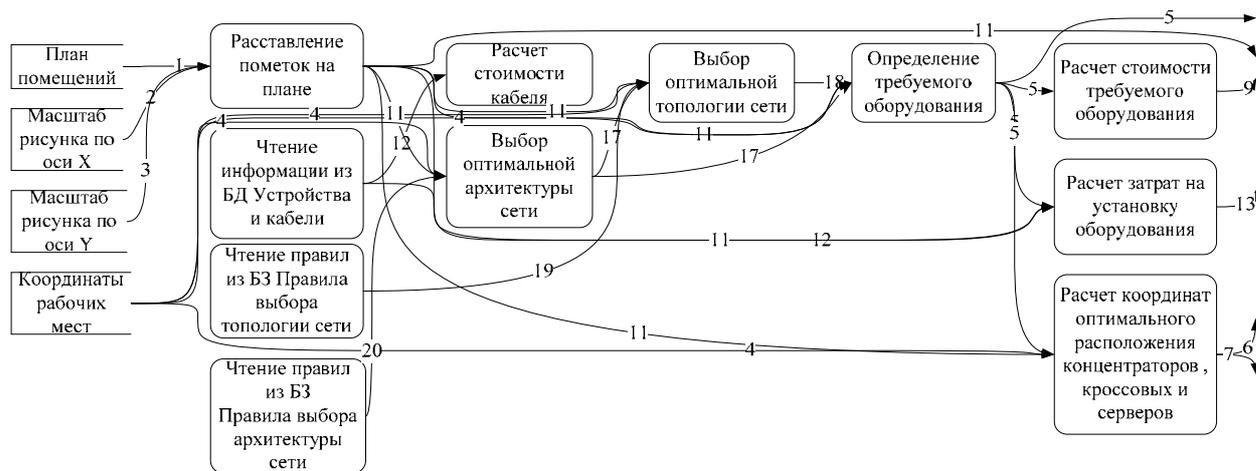


Рис. 3. Фрагмент диаграммы потоков данных:

1 – план помещений; 2 – масштаб рисунка по оси X; 3 – масштаб рисунка по оси Y; 4 – координаты рабочих мест; 5 – требуемые средства; 6 – координаты устанавливаемых устройств и оборудования; 7 – пары соединяемых устройств; 11 – разметка пространства карты; 12 – цены устройств и кабелей; 18 – тип выбранной топологии сети; 19 – правила выбора топологии сети; 20 – правила выбора архитектуры сети

Подсистема “Построение диаграмм потоков данных” осуществляет построение и упорядочение графа потоков данных, а также создание фигур диаграмм потоков данных в Microsoft Office Visio.

Для построения потоков данных сначала производится поиск входов функций, совпадающих с входами системы. Затем функции, на все входы которых поступают данные, помещаются на диаграмму на одном уровне. Их входы соединяются с входами системы. Далее производится поиск функций, входы которых совпадают с выходами полученных на предыдущем шаге функций. Они помещаются на следующем уровне, их входы соединяются с выходами функций предыдущих уровней и с входами системы. Работа алгоритма продолжается до тех пор, пока все функции не будут помещены на диаграмму. После этого производится соединение выходов функций с необходимыми выходами системы.

Фрагмент диаграммы потоков данных, синтезированной на основе фреймовой структуры, представлен на рис. 3.

В результате разработки и внедрения предлагаемой системы повышается качество проектирования за счет автоматизации рутинного труда человека по извлечению полезной информации из стандартного документа и отображению ее в виде моделей программного обеспечения.

В результате разработки и внедрения предлагаемой системы повышается качество проектирования за счет автоматизации рутинного

труда человека по извлечению полезной информации из стандартного документа и отображению ее в виде моделей программного обеспечения.

Проектирование программного обеспечения мало отличается от проектирования в других областях науки и техники, поэтому результаты данной работы можно расширить для применения в других областях человеческих знаний. Таким образом, открывающиеся перспективы повышают актуальность данной работы.

Проект разработан на платформе Microsoft .NET Framework (язык разработки C#). Таблицы разделов хранятся в формате XML, а их визуальное представление возможно и использованием XSL-преобразования. Полученное при семантическом анализе фреймовое описание также сохраняется в формате XML. Построение диаграмм потоков данных осуществляется с помощью взаимодействия системы с программой MS Visio 2003.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Заболеева-Зотова А. В.* Лингвистические системы: модели, методы, приложения // Волгоград: ВолгГТУ, 2004. – С. 220.
2. *Заболеева-Зотова А. В., Орлова Ю. А.* Разработка средств автоматизированного проектирования программного обеспечения на основе анализа текста технического задания / В сб. трудов Международных научных конференций “Интеллектуальные системы”(AIS’05) и “Интеллектуальные САПР”(CAD’2005). – М.: Физматлит, 2005, Т. 2. – С. 41–43.

УДК 681.51

Э. Е. Кудряшова

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ АОС НА ОСНОВЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ СПЕЦИФИКАЦИЙ

Волгоградский государственный технический университет (ela42@bk.ru)

Международные стандарты IMS, включенные в европейскую методику высшего образования, использованы при разработке адаптивной автоматизированной обучающей системы.

Ключевые слова: адаптивная автоматизированная обучающая система, международные стандарты IMS.

E. E. Kudryashova

DEVELOPMENT ADAPTIVE AUTOMATED EDUCATIONAL SYSTEM BASED ON INTERNATIONAL SPECIFICATIONS

International Standards IMS included in European methodology of higher education used in development Adaptive automated educational system.

Adaptive automated educational system, International Standards IMS.

Вопреки общей тенденции сокращения рабочего и возрастания свободного времени у большинства социально-профессиональных групп – для преподавателей имеет место противоположное явление. Имеются противоречия учебного труда и у студентов. Как известно из психологии, знания и умения человека есть всегда

продукт его личной познавательной деятельности. В учебных заведениях, как правило, рабочие программы по дисциплинам разрабатываются с расчетом на “среднего” студента, что противоречит объективно существующим различиям учащихся, снижает мотивацию и эффективность обучения.

Адаптивные автоматизированные обучающие системы (АОС) обладают возможностью настройки к обучаемому (его уровню знаний, скорости и пути продвижения по изучаемому материалу и т. д.), развитой системой сбора и обработки статистической информации о каждом обучаемом, группе и потоке обучаемых (в том числе накапливают информацию о часто встречающихся ошибках при работе с обучающей системой и ошибках обучаемых по теме или дисциплине).

В рамках методических материалов Болонской конференции разработаны спецификации IMS QTI для разработки адаптивных АОС в едином формате. АОС должна разрабатываться на основе спецификаций, которые включают:

1) цели программы (с указанием предполагаемых действий обучаемого после обучения по данной программе);

2) описание схемы шагов обучения, структур задач;

3) характеристики обучаемых, на которых рассчитана данная программа (курс, специализация); объем знаний по базовым предметам, необходимый при обучении по данной программе; время обучения;

4) тесты (начальный – для определения исходного уровня знаний учащегося, то есть возможности его работы с учебной программой, и итоговый – для установления достижения обучаемым заданных целей обучения);

5) инструкцию по эксплуатации программы с указанием языка, на котором она написана.

Использование спецификаций IMS QTI

Компоненты (круги) и структуры данных (прямоугольники), разработчики и пользователи адаптивной АОС на основе IMS QTI изображены на рисунке.

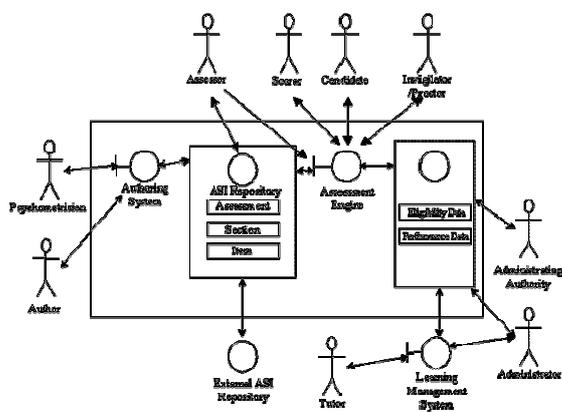


Рис. Структура адаптивной АОС на основе международных спецификаций

Основная информационная модель

Основные структуры данных, которые используют в IMS QTI:

1) пункт(ы) (*Item(s)*) – независимый модуль, который может быть обменен, используя IMS QTI. Пункт не может быть составлен из других пунктов. Пункт – содержит 'вопрос', представление команд для обработки ответа, обратную связь, которая может быть представлена (включая подсказки и решения);

2) раздел(ы) (*Section(s)*);

3) исследование (*Assessment*) – содержит тестирование и по крайней мере, один раздел, таким образом, не возможно разместить пункты непосредственно в пределах исследования;

4) банк Объекта (*Object bank*) – это собрание пунктов, разделов или смеси пунктов и разделов.

В терминологии, принятой в QTI, пункт определен как фундаментальный блок, который содержит один или более вопросов и ответы. Принятая таксономия в IMS типа ответа показана на рисунке: основной, составной, сложный.

Задачи методического обеспечения АОС

Для того чтобы имелась возможность сравнения различных обучающих программ и результатов обучения, целесообразно выделить определенные показатели. К таким показателям можно отнести:

число основных понятий, изучаемых в данной программе;

отношение этого числа к числу понятий, составляющих полный объем данного курса.

Под уровнем усвоения понимается способность обучаемого выполнять некоторые целенаправленные действия для решения определенного класса задач, связанных с использованием объекта изучения. Уровень усвоения можно рассматривать как качество изучения предмета.

Для задания целей обучения необходимо представить последовательность подлежащих изучению понятий и для каждого из них указать предполагаемые значения в начале и конце обучения параметров: уровень усвоения, уровень абстракции, затрачиваемое время.

В процедуре шага обучения выделены следующие элементы – кадры: информационный, операционный, кадр обратной связи, контрольный и дополнительные кадры. Задачи составляют содержание операционных кадров. Выделяются задачи, требующие интеллектуальных процессов при решении и не требующие их (использующие в основном память). В свою очередь задачи, требующие творческой деятельности, разделяются на две подгруппы:

задачи, когда известны цель и способ ее достижения,

задачи-проблемы – цель известна, а способ ее достижения не ясен, которые решаются с помощью эвристических приемов.

Каждая задача, используемая в программе, должна быть соотнесена с определенным набором индивидуальных характеристик студента. К ним необходимо отнести: уровень усвоения понятия, заданный целями обучения; коэффициент усвоения; уровень задачи (то есть, уровень для формирования действий, на котором используется данная задача); сложность задачи.

Статистика в АОС

Характерная черта применения АОС – возможность сохранения в памяти ПК информации, касающейся как обучения каждого студента, группы студентов, так и всевозможных данных по изучению всего курса, по каждому проведенному занятию, каждой решенной задаче.

Статистические данные по курсу включают: общее время на изучение данного курса; время на изучение информационных кадров; время на выполнение операционных и контрольных кадров; среднее время изучения понятия; среднее время прохождения шага обучения; число задач, решенных по курсу всего; число задач, решенных верно; число задач, решенных на контрольных кадрах; число учащихся, изучавших данный курс.

Статистические данные по шагу обучения включают: число учащихся, изучавших данный шаг; число верно и неверно решенных – на шаге задач; среднее время изучения шага по конкретной задаче.

Информация, хранящаяся в системе по каждой задаче: число верных и неверных решений; время решения; число решений по каждому предполагаемому ответу; число отказов от ре-

шения; число просьб об изменении сложности задачи; число обращений к "Справке", "Разъяснению"; "Помощи".

Для каждого обучаемого необходимо иметь сведения за каждый урок с конкретным указанием номеров задач, предложенных ему, данного ответа, времени решения каждой задачи. Информация о числе верных и неверных решений позволяет провести качественную оценку задач, получить характеристику трудности решенных задач. Информация, получаемая по каждой задаче, может служить исходным материалом при индивидуализированном обучении. Для каждого обучаемого в процессе адаптации АОС настраивается наиболее подходящий набор задач.

Основные направления развития АОС

1. Разработка адаптивных АОС на основе единых международных спецификаций;
2. Развитие аудиовизуальных средств в разработке АОС;
3. Интеграция с другими автоматизированными системами;
4. Слияния АОС и экспертных систем. Экспертные системы обеспечивают доступ к базам знаний, что позволяет принимать решения на основе накопленного опыта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аванесов В. С.* Теория и методика педагогических измерений [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://www.testolog>.
2. *Кудряшова Э. Е.* Новые информационные технологии в автоматизированных системах обработки информации и управления: Учеб. пособие (гриф УМО): изд. 2-е, дополн. / ВолгГТУ. – ООО "ПРИНТ". – Волгоград, 2006. – 96 с.
3. Системы дистанционного контроля знаний [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://www.nit.miem.edu.ru>

УДК 658.012.011.56:62-192

В. С. Лукьянов, Е. С. Кузнецова

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ АСУ С УЧЕТОМ ДОПУСТИМОГО ВРЕМЕНИ ПРОСТОЕВ СИСТЕМЫ

Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ (cad@vstu.ru)

Рассматриваются вопросы оценки количественных и качественных закономерностей процессов моделирования в области исследования надежности каналов передачи данных в автоматизированных системах управления.

Ключевые слова: моделирование, критерии надежности, передача данных.

V. S. Lukyanov, E. S. Kuznetsova

ESTIMATION OF MANAGEMENT PARAMETERS' RELIABILITY OF THE INFORMATION SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT ADMISSIBLE TIME OF SYSTEM'S IDLE TIMES

Questions of quantitative and qualitative legitimacies processes of modelling estimation in the field of research of data channels' reliability in the automated systems handle are considered.
Modelling, criteria of reliability, data transfer.

Настоящее время характеризуется резким возрастанием роли моделирования во всех сфе-

рах и отраслях науки и техники. Это обусловлено созданием все более сложных техниче-

ских систем, требующих комплексного исследования. Особую актуальность моделирование приобретает в области исследования надежности каналов передачи данных в автоматизированных системах управления (АСУ). При проектировании этих систем возникают многочисленные задачи, требующие оценки количественных и качественных закономерностей процессов функционирования и проведения анализа их работы. Эти системы относятся к сложным системам, характеризующимся сложностью структуры, неоднозначностью поведения при различных внутренних состояниях и внешних воздействиях, большом количестве случайных факторов. Недоработки, ошибочные решения, принимаемые на этапе разработки этих систем, приводят к большим экономическим затратам после их изготовления и внедрения.

С учетом сложности таких систем, основным средством их исследования на раннем этапе разработки является моделирование, позволяющее создать эффективную систему организации оптимальных режимов эксплуатации АСУ.

При выполнении моделирования используются описания и свойства реальных объектов. Понятие объекта работающего в реальном масштабе времени (РМВ), тесно связано с длительностью реакции, под которой понимается интервал времени между моментом наступления события от управляющего объекта АСУ и моментом ответа на это событие управляемого или взаимодействующего объекта. Полное время реакции определяется длительностью циклов обработки информации $T_{ц.о}$ и ее передачи $T_{ц.п}$ по средствам обмена данными, т. е. $t_{р.ц} = T_{ц.о} + T_{ц.п}$. Для обеспечения управления объектами в РМВ значение показателя $t_{р.ц}$ должно выдерживаться в строгом соответствии с уста-

новленной для каждого объекта АСУ периодичностью изменения его режимов функционирования $T_{ц}$, т. е. обработка и передача информации должны осуществляться с более высокой скоростью, чем скорость реально протекающего процесса на управляющем объекте. Это создает определенный запас времени $\Delta\tau = T_{ц} - t_{р.ц}$, $\Delta\tau > 0$, необходимый для принятия решения, определяющий качество управления в РМВ.

Процесс функционирования каналов представляется в виде последовательности интервалов исправной работы и перерывов связи, моменты возникновения которых, считаются независимыми. Средняя длительность задержки передачи, обусловленная указанными перерывами связи, будет зависеть:

- 1) от установленного для канала связи допустимого времени перерыва (критерия отказа t_*);
- 2) от порога сдачи канала связи $t_{сд}$ на восстановление предприятию связи;
- 3) от стратегии обслуживания отказавших каналов, среди которых можно выделить две.

Таким образом, при использовании кабельных каналов для обмена информацией между объектами АСУ среднее время задержки передачи определенного объема информации при каждом возникновении самоустраняющихся и устойчивых отказов составляет 3–5 мин и существенно зависит от надежности каналов связи и стратегий их обслуживания.

Приведенные данные используются при построении имитационных моделей систем работающих в реальном масштабе времени. Для примера приводится структура, и результаты моделирования тракта передачи данных с двукратным резервированием рабочего канала.

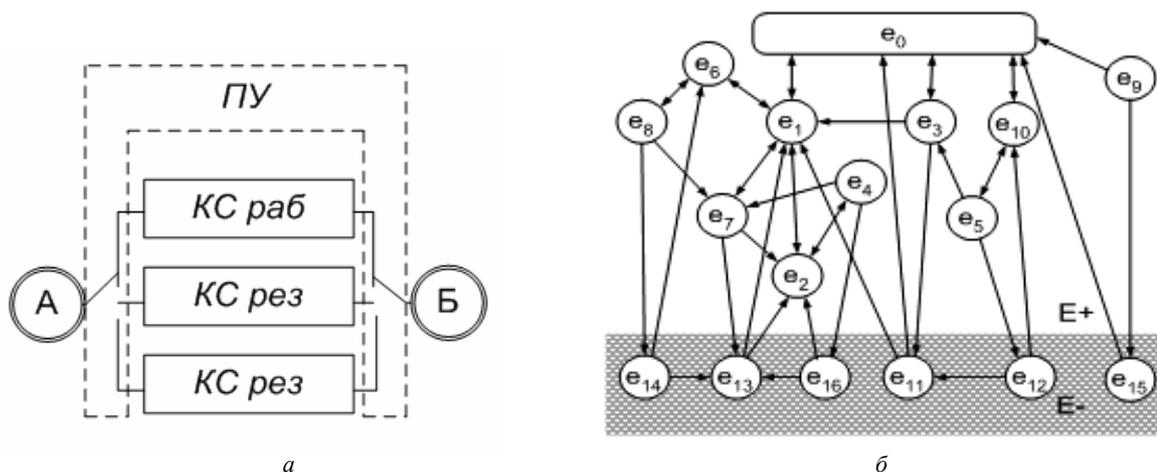


Рис. 1. Структура тракта ПД с двукратным резервированием рабочего канала (а), и его граф возможных состояний системы (б)

В процессе функционирования такого тракта выделяются следующие состояния:

- e_0 – все оборудование исправно;
- e_1 – отказал один резервный канал, остальные исправны;
- e_2 – отказали резервные каналы при исправном рабочем;
- e_3 – отказал рабочий канал при исправных резервных;
- e_4 – отказал рабочий канал при неисправных резервных;
- e_5 – отказало ПУ 1-го рода при отказе рабочего канала и исправных резервных;
- e_6 – отказало ПУ 1-го рода при неисправном резервном канале и исправных остальных каналах;
- e_7 – отказал рабочий канал при одном исправном и одном неисправном резервных каналах;
- e_8 – то же самое, что и состояние e_7 , но отказало ПУ 1-го рода;
- e_9 – отказало ПУ 2-го рода;
- e_{10} – отказало ПУ 1-го рода и все каналы исправны;
- e_{11} – отказал рабочий канал при исправных резервных, но $t_n > t_*$;

- e_{12} – отказало ПУ 1-го рода при отказавшем рабочем канале и исправных резервных, но время восстановления канала $\tau_B^{(K)}$ и $\tau_B^{(ПУ)}$ больше t_* ;
- e_{13} – отказал рабочий канал при одном исправном резервном и $t_n \geq t_*$;
- e_{14} – отказало ПУ 1-го рода при отказавшем рабочем канале и одном исправном резервном, но $\tau_B^{(K)} \geq t_*$, $\tau_B^{(ПУ)} \geq t_*$;
- e_{15} – отказало ПУ 2-го рода и $\tau_B^{(ПУ)} \geq t_*$;
- e_{16} – отказал рабочий канал при неисправных резервных и $\tau_B^{(K)} \geq t_*$.

Из этого множества состояний $E \{e_0, e_1, e_2, \dots, e_{16}\}$ состояния $E_+ \{e_0, e_1, \dots, e_{10}\}$ являются работоспособными, а $E_- \{e_{11}, e_{12}, \dots, e_{16}\}$ соответствуют отказу тракта.

На основании данной структуры реализации имитационная модель системы. Выполнены расчеты для основных показателей надежности: принятого критерия отказа канала t_* , который оказывает влияние на среднее время наработки на отказ $T_{от}$, на среднее время восстановления T_B и коэффициент готовности канала K_G .

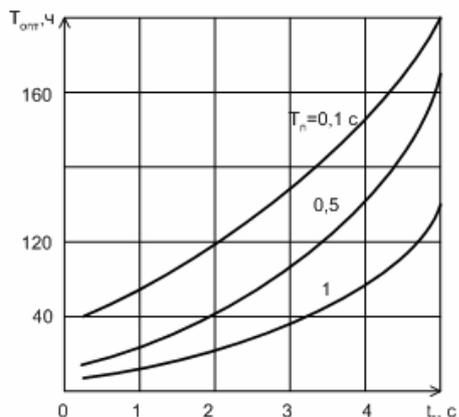


Рис. 2. Графики для оценки влияния временной избыточности t_* на среднее время наработки на отказ $T_{от}$

$$T_{от} = (2\mu_0^2 + 2\mu_0\lambda_0 + \lambda_0^2) / \lambda_0^3; T_B = 1 / (3\mu_0);$$

$$K_G = [3\mu_0(2\mu_0^2 + 2\mu_0\lambda_0 + \lambda_0^2)] / (6\mu_0^3 + 6\mu_0^2\lambda_0 + 3\mu_0\lambda_0^2 + \lambda_0^3).$$

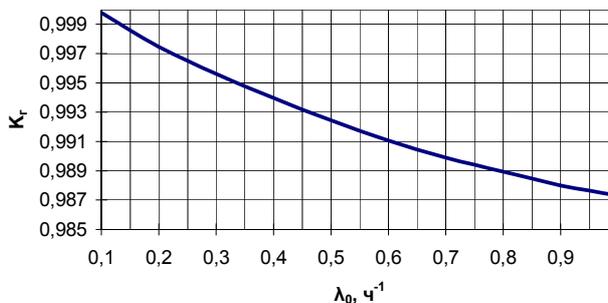


Рис. 4. Зависимость коэффициента готовности K_G от интенсивности отказа канала λ_0 (при $\mu_0 = 10 ч^{-1}$)

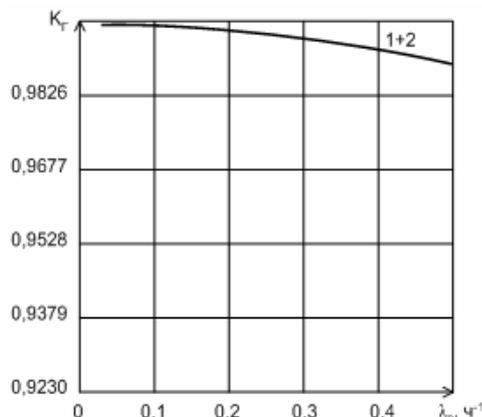


Рис. 3. График для оценки влияния интенсивности отказов каналов λ_0 на коэффициент готовности тракта ПД K_G при $\mu_0 = 6 ч^{-1}$ и $t_* = 1 с$

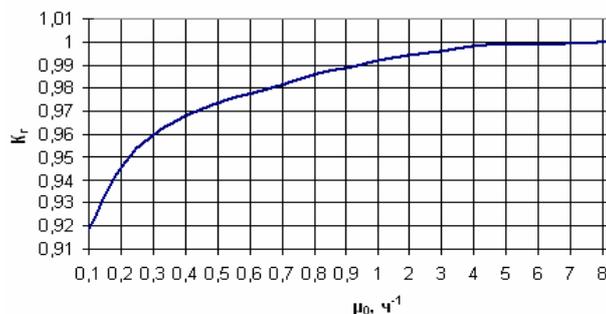


Рис. 5. Зависимость коэффициента готовности K_G от интенсивности восстановления канала μ_0 (при $\lambda_0 = 0,1 ч^{-1}$)

Из анализа результатов аналитического расчета показателей T_{OT} , K_B и K_T по формулам и их имитационного моделирования программными средствами можно сделать следующие выводы:

1. Интенсивность отказов и восстановлений каналов тракта меньше влияет на показатели надежности (в несколько раз), чем интенсивность отказов ПУ;

2. При увеличении кратности резервирования рабочего канала в большей степени начинает сказываться изменение временной избыточности тракта на показатели его надежности;

3. Результаты расчета показателей надежности T_{OT} и K_T при одинаково выбранных параметрах трактов с одним и двумя резервными каналами практически совпадают (до единиц процентов) по своим значениям с результатами оценки аналогичных показателей, полученных экспериментальным путем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рожков Л. И. Средства передачи данных в АСУ. – 1977. – 184 с.

2. Лукьянов В. С., Слесарев Г. В. Проектирование компьютерных сетей методами имитационного моделирования: Учеб. пособие / ВолгГТУ. – Волгоград, 2001. – 75 с.

УДК 004.021

Р. Л. Морозов

ПОИСКОВЫЕ РЕЙТИНГИ РОССИЙСКОГО ИНТЕРНЕТА

Волгоградский государственный технический университет (cad@vstu.ru)

В статье рассматриваются поисковые рейтинги российского Интернета. Рассмотрен тематический индекс цитирования и страничный ранг Google. Предложен новый подход к ранжированию страниц на основе среднего индекса цитирования.

Ключевые слова: тематический индекс цитирования, средний индекс цитирования, страничный ранг Google.

R. L. Morozov

SEARCH RATINGS OF THE RUSSIAN INTERNET

Search ratings of the Russian Internet was represented in the article. The thematic index of citing and Google page rank was considered. The new approach to ranging of page on the basis of an average index of citing is offered.

Thematic index of citing, average index of citing, Google page rank.

Ранги в поисковиках

Как ни странно, но среди веб-сайтов тоже есть свои советники, ассессоры и даже канцлеры. Поисковые машины ранжируют веб-сайты в зависимости от их значимости. Информация на крупных сайтах (Яндекс, МГУ и т. д.) является более важной, чем информация сайтах, которые только недавно появились в сети. На ранг сайта влияет мнение поисковой машины и количество внешних ссылок установленное на сайт. Поисковые машины иногда отдают предпочтение веб-сайтам участвующим в каталоге, ведь сайты зарегистрированные в каталоге проверяются модераторами. Существуют несколько видов открытого рейтинга ранга сайтов: Google Page Rank, ИЦ (Индекс Цитирования, Яндекс), СИЦ (Средний Индекс Цитирования). Попробуем разобраться в данных рейтингах более подробно.

Google Page Rank

Что такое PageRank? PageRank – это числовая величина, характеризующая "важность" страницы в Google. Чем больше ссылок на страницу, тем она становится "важнее". Также, вес страницы A определяется весом ссылки, передаваемой страницей B . В итоге, PageRank –

это метод вычисления веса страницы путем подсчета важности ссылок на страницу. PageRank является одним из вспомогательных факторов при ранжировании сайтов в результатах поиска. PageRank не единственный, но очень важный способ определения положения сайта в Google. Для упрощения далее PageRank будет упоминать как PR. Численное значение PR можно получить через Google Toolbar (<http://toolbar.google.com>).

Примечания:

Google учитывает не все ссылки. Поисковая система отфильтровывает ссылки с Free For All (FFA) сайтов, т. е. сайтов, предназначенных для скопления ссылок.

Как вычисляется PageRank? При расчете PR страницы учитывается все входящие ссылки. Это ссылки как с самого сайта, так и с других сайтов в сети.

$$PR(A) = (1-d) + d(PR(t1)/C(t1) + \dots + R(tn)/C(tn))$$

Вот это и есть формула PageRank. Исходная формула, утвержденная еще при разработке алгоритма. Скорее всего, в Google практикуются измененные варианты формулы, но это не столь важно. Данное выражение достаточно хорошо показывает суть PageRank.

Значение переменных:

$t1-tn$ – страницы, ссылающиеся на страницу A

C – число исходящих ссылок, которые есть на странице

d – коэффициент затухания, обычно его выставляют 0.85

Можно смотреть на это проще – PageRank страницы = $0.15 + 0.85 * (\text{Доля PageRank каждой страницы, которая ссылается на нее})$.

"Доля" это PageRank страницы, разделенный на число исходящих ссылок на странице. Ссылающаяся страница передает часть своего веса каждой странице, на которую ссылается. При передаче веса существует так называемый коэффициент затухания (равен примерно 0,85) Коэффициент применяется к каждой ссылке.

Отсюда кажется верным вывод, что ссылка со страницы с A и на которой 5 исходящих ссылок будет весомее, чем ссылка со страницы B со 100 исходящими ссылками. Безусловно, PageRank ссылающейся страницы важен, но и число исходящих ссылок на данной странице также имеет значение. Однако многие считают, что значения между PR1 и PR10(максимальное) выставляются по логарифмической шкале. Для таких предположений есть основания.



Рис. 1

Никто вне Google не знает наверняка, так это или не так, но велики шансы, что шкала действительно логарифмическая. Но если шкала логарифмическая, то это означает, что необходимо гораздо больше дополнительного PageRank, чтобы страница передвинулась на следующий уровень PageRank, чем то, что потребовалось на предыдущем уровне. И тогда получается, что ссылка со страницы с PR8, имеющая много исходящих ссылок, гораздо ценнее чем ссылка со страницы, имеющей PR4 и лишь несколько исходящих ссылок.

Тематический индекс цитирования (ТИЦ)

Тематический индекс цитирования (ТИЦ) – в поисковой системе Яндекс определяет "авторитетность" Интернет ресурсов с учетом качественной характеристики ссылок на них с других сайтов. Качественную характеристику называют "весом" ссылки. Рассчитывается она по специально разработанному алгоритму. Большую роль играет тематическая близость ресурса и ссы-

лающихся на него сайтов. Значение ТИЦ можно получить используя <http://bar.yandex.ru> (рис. 2) или каталог Яндекса <http://yaca.yandex.ru>.



Рис. 2

Тематический Индекс Цитирования, как средство определения авторитетности ресурсов призван обеспечить релевантность расположения ресурсов в рубриках каталога Яндекса. ТИЦ не является строго количественной характеристикой. Он дает лишь некоторые округленные значения, которые помогают определиться в "значимости" ("авторитетности") ресурсов в каждой тематической области.

Средний индекс цитирования (СИЦ)

Новое решение было разработано автором статьи в 2005 году, разработав свой собственный взгляд на ранжирование в сети. Суть идеи заключается в соединении двух рейтингов (Page Rank и ТИЦ) в один Средний Индекс Цитирования (СИЦ, адрес проекта: <http://pr.addweb.ru> (рис. 3), здесь можно получить СИЦ). В данном случае речь идет о логарифмической шкале (1-100), соединяющей Page Rank и ТИЦ.



Рис. 3

Удобство этого подхода заключается в том, что пользователь видит общую картину рейтинга того или иного сайта. Это очень удобно для принятия решения о перспективах сотрудничества с тем или иным проектом, ведь кроме СИЦ счетчик выводит и значения PR и ТИЦ. На сегодняшний день СИЦ используется многими разработчиками систем (glinks.ru, addweb.ru, m-links.ru и др.), которым необходима оценка приоритетности того или иного сайта.

Заключение

В заключение можно сказать, что поисковые машины отлично развиваются. И даже используют вполне известную поговорку: "Скажи мне кто твой друг, и я скажу кто ты!". Поисковики смотрят на друзей Интернет-проекта и принимают решение о его важности в сети. Поэтому надо серьезно отнестись к вопросу поиска дружественных сайтов в сети Интернет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яндекс – Директ. Статистика запросов [Электронный ресурс]. – [2004]. – Режим доступа: <http://direct.yandex.ru>.

2. Разъясненный Page Rank [Электронный ресурс]. – [2004]. – Режим доступа: <http://www.webmasterpro.com.ua>.

3. Индекс цитирования [Электронный ресурс]. – [2004]. – Режим доступа: <http://yandex.ru/cy>.

4. Жовтенко В. Продвижение веб-сайта – К.: ООО "Деловая книга", 2002 г. – 200 с.

5. Ашманов И. С. Продвижение сайта в поисковых системах. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2007 – 304 с. : ил ISBN 5-8459-1155-9.

УДК 004.912

И. В. Прохоров

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА СЛОВ ИНОЯЗЫЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЛЕКСИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЯЗЫКОВ

Волгоградский государственный технический университет (ilya.prokhorov@gmail.com)

В задаче поиска новых слов существует три основные проблемы: лексические ошибки; поиск синонимов и переводов слов на другие языки. Для их решения авторами разработан алгоритм, показанный в работе. Так же в работе предлагается модель автоматического этимологического анализатора.

Ключевые слова: этимологический анализ, семантика, нечеткие правила, кластеризация.

I. V. Prohorov

AUTOMATION OF SEARCH OF WORDS OF A SPEAKING ANOTHER LANGUAGE ORIGIN IN LEXICAL SYSTEMS OF NATURAL LANGUAGES

In a problem of search of new words exists three basic problems: lexical mistakes; search of synonyms and translations of words into other languages. For their decision authors develop the algorithm shown in work. As in work the model of the automatic etymological analyzer is offered.

The etymological analysis, semantics, indistinct rules, tracing of words.

Процесс развития современных языков продолжается в настоящее время. Одним из важных факторов, влияющих на изменение языков, являются процессы заимствования, которые происходили и происходят по разным причинам. Основная – отсутствие в языке подходящего слова для именованного некоторого понятия или объекта, однако, существенным является влияние моды. Так, благодаря моде на французский язык в Петровскую эпоху, а затем, в конце XVIII – начале XIX в., в русском языке появились слова: *корсаж, пальто, буфет, салон, мебель, туалет, бульон, котлета* и др.

Пути заимствования со временем меняются. На сегодняшний день пополнение лексического состава языков происходит, в основном, через международные коммуникации по средствам сети Интернет.

Для выявления источника и способа заимствования слова проводится этимологический анализ, задача которого имеет большую размерность даже при поиске прямого источника заимствования. Усугубляет ситуацию то, что нередко слова попадают в язык через несколько других, так итальянские слова *купол, кавалер, бензин, коридор* и др. попали в русский язык через французский. При этом не разработано ни одной специализированной системы автоматизирующей этимологический анализ. Безусловно, существуют программные пакеты извлече-

ния новых знаний из массивов данных, позволяющие сократить область поиска, но большая часть работы проводится вручную.

Учитывая ограничения накладываемые размерностью задачи и особенностями современных путей заимствования слов, автором была разработана модель автоматического этимологического анализатора. Формально модель может быть представлена как четверка

$$V_{\varepsilon} = \langle L, S, C, E \rangle,$$

где: L – множество исследуемых языков;

S – обходящий робот, осуществляющий поиск новых слов в сети;

C – кластеризатор, сужающий пространство поиска;

E – анализатор, выявляющий заимствованные слова.

$$L = \langle l_1, l_2, \dots, l_n, T, G \rangle,$$

где: l_i – описание языка;

T – множество связей, отражающих переводы слов;

G – тематические группы.

Описание каждого языка $l_i \in L$ представляет собой пятерку

$$l_i = \langle v_s, g_m, g_t, g_{\tau}, \varepsilon \rangle,$$

где: v_s – множество слов принадлежащих языку и синонимических связей между ними;

g_m – грамматика морфологического разбора;

g_t – грамматика построения транскрипций;

g_τ – грамматика транслитерации;

ε – этимологические пометки слов языка.

Обходящий робот S осуществляет обход сайтов, проводя для каждой страницы контент анализ, выявляя слова, которых нет в словаре.

Язык страницы идентифицируется по значениям параметров lang тегов разметки страницы. Если таковых не обнаружено, идентификация осуществляется по буквенному составу и статистике языковой принадлежности известных слов.

Следует отметить, что в рамках данной модели рассматривается два уровня новизны слова: новая семантика известного слова; новое слово.

В задаче поиска новых слов существует три основные проблемы: лексические ошибки; поиск синонимов и переводов слов на другие языки.

Для их решения авторами разработан следующий алгоритм:

Для каждого слова $w_j \in W_k$ полученного в результате контент анализа страниц сайтов S_U :

1. Определить язык $l_i \in L$, к которому принадлежит слово $w_j \in W_k$;

2. Выделить подмножество H множества W_k такое, что

$$(\forall w_j \in H, w_i \in l_i) [(w_j = w_i) \vee (t(w_j) = t(w_i))],$$

где $t()$ – транскрипция;

3. Если

$$|H| > 0 \text{ и } \forall w_j \in H, w_i \in l_i, K(w_i) \neq K(w_j),$$

где $K()$ – маска контекста применения, занести w_j в множество вероятно новых слов N ;

4. Занести все слова $w_j \in W_k, w_j \in H$ в множество N ;

5. Если некоторое слово $w_L \in N$ применяется более чем на $(100 - \theta(S_{w_i}))\%$ сайтов тематической группы $G(S_{w_i})$ то:

5.1. Занести w_L в тематическую группу $G(S_{w_i})$ языка l_i ;

5.2. Пометить $\forall w_i \in v_s, K(w_i) \subset K(w_j)$ как синонимы w_L ;

5.3. Найти во всех языках $l_j \in L$ слова w_T с аналогичными синонимами. Пометить слова w_T как переводы слова w_L .

Как видно из описания алгоритма, проблема лексических ошибок решается за счет требования к частоте использования новых слов (шаг 5). Проблема построения синонимических рядов решается

введением понятия маски контекста применения, описывающей смысловую нагрузку слова.

Кластеризатор C определяет вероятность иноязычного происхождения, а также предполагаемый язык источник для каждого слова исследуемого языка.

Кластеризация проводится по следующим нечетким признакам: буквенный состав слов; звуковой состав слов (транскрипции); морфологический состав слов; вероятность иноязычного происхождения; вероятный источник заимствования; вероятный путь заимствования; принадлежность к тематической группе.

В связи с высокими требованиями к быстродействию авторами был выбран алгоритм кластеризации CLOPE и осуществлена его модификация под нужды задачи.

Цель работы алгоритма – максимизация функции оценки качества:

$$fit(C_{l_i}, r) = \frac{\sum_{i=1}^{|C_{l_i}|} G(c_i, r) \times |c_i|}{\sum_{i=1}^{|C_{l_i}|} |c_i|},$$

где C_{l_i} – множество кластеров, c_i – кластер, $G(c_i)$ – градиент кластера.

Рассмотрим шаги алгоритма:

1. Построить транскрипции слов языка $l_i \in L$;

2. Провести морфологический анализ слов языка $l_i \in L$, для которых он не проводился;

3. Вычислить $r = 2.6 + \Delta \frac{\alpha(v_s)}{|v_s|}$, $\Delta \geq 1$, где Δ – коэффициент прироста, $\alpha(v_s)$ – количество заимствованных слов в словаре $v_s \in l_i$;

4. Поместить каждое слово $w_i \in v_s, v_s \in l_i$ в новый, существующий или оставить в текущем кластере $c_i \in C_{l_i}$. Кластер для слова w_i выбирается так чтобы $fit(C_{l_i}, r) = \max$;

5. Если на шаге 4 было перенесено хотя бы одно слово, перейти к шагу 4;

Как видно из описания, алгоритм использует результаты предыдущей работы при очередном запуске. В случае появления новой информации – новых слов в словаре и/или этимологических пометок, данная особенность позволяет повысить качество кластеризации при минимальных временных затратах.

Анализатор E ищет слова языка $l_i \in L$ заимствованные из других языков множества L следующими способами: лексико-словообразовательное калькирование; лексико-словообразовательное полукалькирование; семантическое калькирование; транскрипция; транслитерация.

Под лексико-словообразовательным калькированием понимается буквальный перевод частей слова: приставки, корня, суффикса при точном повторении способа его образования и значения [1].

Лексико-словообразовательное полукалькирование осуществляется путем буквального перевода частей иностранного слова и добавления к ним частей из исследуемого языка [1].

Семантическим калькированием называется наделение слова принадлежащего исследуемому языку новым значением под влиянием другого языка [1].

Для выявления слов заимствованных перечисленными способами автором были разработаны нечеткие критерий:

$\mu_f(w_i, w_j)$ – степень родства слов $w_i \in l_i$ и $w_j \in l_j$ по лексико-словообразовательному калькированию. Значение вычисляется по алгоритму:

1. Найти все варианты переводов частей слова w_j полученных в результате морфологического анализа на языке l_i ;

2. Провести нечеткого сравнение переводов всех частей слова w_j с одноклассными частями слова w_i ;

3. Если в результате сравнения проведенного на шаге 2 обнаружен ряд переводов образующих слово w_i с средней точностью $\gamma > 60\%$, $\mu_f(w_i, w_j) = \gamma$ в противном случае $\mu_f(w_i, w_j) = 0$.

$\mu_h(w_i, w_j)$ – степень родства слов $w_i \in l_i$ и $w_j \in l_j$ по лексико-словообразовательному полукалькированию. Значение вычисляется по алгоритму:

1. Найти все варианты переводов частей слова w_j полученных в результате морфологического анализа на язык l_i ;

2. Провести нечеткого сравнение переводов всех частей слова w_j с одноклассными частями слова w_i ;

3. Если в результате сравнения проведенного на шаге 2 обнаружен ряд переводов образующих слово w_i с минимальной точностью более 60%, или максимальная точность всех соответствий менее 60%, то $\mu_h(w_i, w_j) = 0$;

4. Если в результате сравнения проведенного на шаге 2 с точностью $\gamma > 60\%$ возможно составить только часть слова w_i , а оставшаяся часть может быть достроена на основе грамматики морфологического разбора языка l_i , то $\mu_h(w_i, w_j) = \gamma$, в противном случае $\mu_h(w_i, w_j) = 0$.

$\mu_s(w_i, w_j)$ – степень родства слов $w_i \in l_i$ и $w_j \in l_j$ по семантическому калькированию. Значение вычисляется по алгоритму:

1. Поместить все омонимы слов w_i и w_j в множества O_{w_i} и O_{w_j} соответственно;

2. Если $|O_{w_i}| = 1$ и/или $|O_{w_j}| = 1$, то $\mu_s(w_i, w_j) = 0$;

3. Если $|O_{w_i}| > 1$ и $|O_{w_j}| > 1$, то:

Провести нечеткое сравнение синонимов всех слов из множества $w_i \in O_{w_i}$ и переводов синонимов всех слов из множества $w_j \in O_{w_j}$;

Если в результате сравнения синонимы хотя бы двух пар w_i и w_j совпали с точностью $\gamma > 60\%$, $\mu_s(w_i, w_j) = \gamma$, в противном случае $\mu_s(w_i, w_j) = 0$.

$\mu_t(w_i, w_j)$ – степень родства слов $w_i \in l_i$ и $w_j \in l_j$ по транскрипции. Значение вычисляется следующим образом: если в результате сравнения $t(w_j)$ и $t(w_i)$, получено совпадение с точностью $\gamma > 60\%$ и значения слов идентичны, то $\mu_t(w_i, w_j) = \gamma$, в противном случае $\mu_t(w_i, w_j) = 0$.

$\mu_\tau(w_i, w_j)$ – степень родства слов $w_i \in l_i$ и $w_j \in l_j$ по транслитерации. Значение вычисляется следующим образом: если в результате сравнения $\tau(w_j, l_i)$ и w_i , где $\tau()$ – операция транслитерации, получено совпадение с точностью $\gamma > 60\%$ и значения слов идентичны, то $\mu_\tau(w_i, w_j) = \gamma$, в противном случае $\mu_\tau(w_i, w_j) = 0$.

Вероятность иноязычного происхождения слова вычисляется по формуле:

$$\lambda(w_i) = \max(\mu_f(w_i), \mu_h(w_i), \mu_s(w_i), \mu_t(w_i), \mu_\tau(w_i)).$$

Вероятность заимствования по каждому способу $\mu_f(w_i), \mu_h(w_i), \mu_s(w_i), \mu_t(w_i), \mu_\tau(w_i)$ вычисляется как произведение нормализованного расстояния от ближайшего слова с соответствующим способом заимствования до w_i .

Процедуру осуществления этимологического анализа языка $l_i \in L$ блоком E можно описать следующим алгоритмом:

Для каждого кластера $c_i \in C_{l_i}$:

1. Вычислить вероятность иноязычного происхождения $\lambda(w_i), \forall w_i \in c_i$;

2. Если $\exists w_i \in c_i, \lambda(w_i) > 0$, то выбрать слово $w_E, \lambda(w_E) = \max$;

3. Если $\forall w_i \in c_i, \lambda(w_i) = 0$, то выбрать слово $w_E \in c_i$ случайным образом.

4. Если вероятным способом заимствования является $\mu_f(w_E)$ и/или $\mu_h(w_E)$, и/или $\mu_s(w_E)$, то выделить из всех языков $l \in L$ слова w_j , такие что $G(w_j) = G(w_i)$. Поместить выделенные слова в множество $H, \forall w_j \in H$ проверить по наиболее вероятному(ым) способам заимствования: $\mu_f(w_E, w_j), \mu_h(w_E, w_j), \mu_s(w_E, w_j)$. На основе проверки сформировать этимологические пометки ε ;

5. Если наиболее вероятным способом заимствования является $\mu_t(w_E)$, то выделить из

всех языков $l \in L$ слова, семантика которых идентичен слову w_E . Поместить выделенные слова в множество $H, \forall w_j \in H, \mu_t(w_E, w_j)$. На основе проверки сформировать этимологические пометки ε .

6. Если наиболее вероятным способом заимствования является $\mu_\tau(w_E)$, то выделить из всех языков $l \in L$ слова, семантика которых идентичен слову w_E . Поместить выделенные слова в множество $H, \forall w_j \in H, \mu_\tau(w_E, w_j)$. На основе проверки сформировать этимологические пометки ε .

Работа модели в целом заключается в синхронизированном взаимодействии параллельно работающих элементов.

Обходящий робот S работает непрерывно. Кластеризатор C и этимологический анализатор E функционируют только в начале работы модели (процесс поиска этимологических связей в начальном словаре), а затем при появлении в словаре новых слов. Итерации последовательной работы C затем E повторяются до тех пор, пока в исследуемых языках присутствуют вероятно заимствованные слова.

Описанная в статье модель способна функционировать на распределенных серверных кластерах с ведением параллельных вычислений, что позволяет существенно повысить скорость решения задачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современный русский язык [книга] / Д. Э. Розенталь, И. Б. Голуб, и др. – М.: Айрис-пресс, 2006.

УДК 004.81:159.942.52

В. Л. Розалиев

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЭМОЦИЙ ПО РЕЧИ ЧЕЛОВЕКА

Волгоградский государственный технический университет (rozaliev_v@mail.ru)

Данная работа направлена на рассмотрение одного из видов невербальной коммуникации – передачи эмоций в речи, и связь ее с акустическими и лингвистическими характеристиками. Описывается аналитическое обеспечение для нахождения эмоциональности речи и формализованная модель эмоций. Предлагаются основные направления, где может быть использованы полученные результаты.

Ключевые слова: речевые технологии, распознавание речи, акустические параметры, лингвистические переменные, "доминирующая" эмоция, нечеткие правила.

V. L. Rozaliev

CONSTRUCTION THE MODEL OF EMOTIONS ON SPEECH OF THE PERSON

The given work is directed on consideration of one of kinds the nonverbal communications – transfers of emotions to speeches, and its communication with acoustic and linguistic characteristics. Analytical maintenance is described for a finding emotional speeches and the formalized model of emotions. The basic directions where can be used are offered the received results.

Speech technologies, recognition of speech, acoustic parameters, the linguistic variables, "dominating" emotion, indistinct rules.

Данная работа направлена на рассмотрение одного из видов невербальной коммуникации – передачи эмоций в речи, и связь ее с акустиче-

скими и лингвистическими характеристиками. Действительно, воспринимая слухом речь, мы получаем информацию, как о смысле речи, так

и об эмоциональном содержании. Следовательно, эмоции кодируются определенными акустическими параметрами в речевом сигнале. Понимание этих особенностей акустического кодирования эмоций позволит понять сам механизм восприятия эмоций, их выражения. Позволит помочь людям, страдающим аутизмом и не способным самостоятельно воспринимать эмоции окружающих. Позволит лекторам, менеджерам, публичным ораторам иметь эффективное средство контроля, того с каким эмоциональным настроением подается их речь, и какова заинтересованность аудитории. Так же данное исследование важно для повышения эффективности распознавания речи. А постепенное повсеместное внедрение роботов, делает результаты данной работы важными для повышения уровня взаимодействия человека и машины.

Формализованная модель эмоций в речи представима в следующем виде: Model = <Prichina, Proavlenie, Emotion, F: Proavlenie → Emotion>, где Prichina – это причина эмоционального состояния, примем за причину время появления изменений в текущем эмоциональном состоянии, сохраняя таким образом пользователю право на окончательное решение; Proavlenie – это множество параметров, характеризующих звуковой сигнал речи человека, т. е. все множество акустических, лингвистических параметров, т. е. Proavlenie = {AcousticParam, LingvisticParam}, где AcousticParam – это акустические параметры; LingvisticParam – это лингвистические параметры; Y – множество эмоциональных состояний; F – функциональные зависимости Y от X .

Известно множество цифровых методов выделения признаков из речевого сигнала [1; 2] Однако зачастую качество поступающего звука, делает невозможным применение некоторых параметров. Поэтому могут использоваться только параметры, инвариантные к действию повышенного уровня сигнала. При вычислении акустических параметров (AcousticParam) речевой поток рассматривается как некоторый квазистационарный процесс. В качестве интегральных признаков речевого потока (т. е. при произвольном контексте речи) используются статистические оценки распределения параметров текущего спектра речи (спектральные признаки) и частоты основного тона, характеризующие этот поток в целом за определенный промежуток времени. При вычислении спектральных признаков речевой сигнал представ-

ляется в виде дискретной последовательности цифровых значений амплитуды речевой волны, подвергается спектральному анализу посредством быстрого преобразования Фурье (БПФ). С помощью БПФ спектры вычисляются последовательно по речевому потоку с применением набора фильтров, соответствующих критическим полосам. Критическая полоса (ее так же называют полосой равной разборчивости) – это минимальная полоса частот, которая возбуждает одну и ту же часть базилярной мембраны. В частотном промежутке от 0 до 16 кГц опытным путем были определены 24 критические полосы. Для удобства работы с критическими полосами используется специальная единица измерений – Барк. [3; 4]

В качестве интегральных спектральных признаков выбраны следующие группы индивидуальных признаков:

- 1) средние значения спектра анализируемого речевого сигнала;
- 2) нормализованные средние значения спектра;
- 3) относительное время пребывания сигнала в полосах спектра;
- 4) нормализованное время пребывания сигнала в полосах спектра;
- 5) медианные значения спектра речи в полосах;
- 6) относительная мощность спектра речи в полосах;
- 7) величины вариации огибающей спектра речи;
- 8) нормализованные величины вариации огибающих спектра речи;
- 9) значения коэффициентов кросскорреляции спектральных огибающих между полосами спектра.

Таким образом, признаки 1-7 – отражают своеобразие формы спектра голосовых импульсов у разных лиц и особенности фильтрующих функций их речевых трактов. Признаки 7-8 характеризуют особенности речевого потока, связанные с динамикой перестройки артикуляционных органов речи говорящего. Коэффициенты кросскорреляции, признак 9 – являются интегральными характеристиками речевого потока, отражающими своеобразие взаимосвязи или синхронности движения артикуляционных органов речи говорящего. Фактически, 1-2 определяют интенсивность сигнала. Изменение интенсивности речевого сигнала, вызванное как временными изменениями подсвязного давле-

ния, так и изменениями формы голосового тракта, информативны при анализе активности ударных и безударных звуков.

Все признаки вычисляются на отрезках длительностью 10 с. Время выбрано экспериментально. Вычисление интегральных признаков на отрезках речи длительностью 10 с вызвано требованием сопоставимости статистических оценок при сравнении речевых сигналов как очень малой, так и большой длительности.

В процедуре вычисления индивидуальных признаков важное место занимает метод отбраковки участков сигнала, имеющих малый уровень, поскольку эти данные не несут информации об индивидуальной речи диктора. Если энергия спектрального среза меньше некоторого порога отбраковки, то этот спектральный срез не участвует в вычислении интегральных признаков.

Опыт криминалистической практики показывает, что индивидуальные акустические признаки, вычисленные на отрезках речи с сопоставимым контекстом, более информативны, чем признаки, вычисленные на отрезках речи с произвольным контекстом. Поэтому мы, воспользовавшись некоторыми лингвистическими параметрами при определении эмоционального состояния, находим слова, однозначно характеризующие эмоциональное состояние человека и на них вычисляем векторы признаков 1-9 при длительности участков 10 с.

Введем признаки, характеризующие отдельные звуки. Необходимость таких признаков обусловлена проведением более глубокого микроанализа. И если слова, характеризующие эмоциональное состояние мы можем и не найти, то такие звуки легче найти в речи. Вычисление акустических признаков микроанализа проводится на наиболее информативных (с точки зрения проявления индивидуальности гласных звуках [А], [О], [Е], [И]). Немаловажную роль в выборе этих звуков оказывает обстоятельство, что они имеют наибольшую частоту встречаемости в устной русской речи.

Основными индивидуализирующими параметрами для звуков являются:

- 1) значение частоты основного тона (F_0) на гласных;
- 2) значение четырех формантных частот (F_1, F_2, F_3, F_4) гласных звуков;
- 3) величина длительности гласных (T_T).

Частота основного тона F_0 связана с индивидуальными физиологическими характери-

стиками голосовых связок говорящего, в частности, длиной связок, их толщиной и эластичностью.

Формантные частоты F_1, F_2, F_3, F_4 являются первыми по порядку резонансными частотами спектров гласных звуков. На этих частотах концентрируется большая часть энергетического спектра гласных. Частоты формант отражают индивидуальные физиологические особенности речеобразующих органов говорящего, в частности, они связаны с формой и размерами рта, языка, зубов.

Для вычисления точных значений формантных частот и частоты основного тона их измеряют в середине гласного звука – в ее квазистационарной части.

Полное множество лингвистических переменных (LingvisticParam) для нашего исследования избыточно, выделим необходимые нам переменные. Мы выделяем: изменение мелодики (Ml), темп речи (Tm), сила голоса (Fr), эмоциональность речи (Em).

Способы выражения эмоций являются общечеловеческими, то есть можно предположить, что существует некий единый код [5]. Поскольку при речевом общении основной задачей является передача смыслового содержания, то эмоциональный аккомпанемент является как бы вторым планом, воспринимаемым нашим подсознанием. Это связано с тем, что невербальные способы общения имеют более древнее эволюционное происхождение [6]. Деление эмоций на первичные (фундаментальные, базовые, основные) и вторичные (производные), основано на утверждении, что существует некоторое количество эмоций, которые появились у человека врожденно (без влияния социума), они являются универсальными для всех людей и имеют одинаковое выражение, и вторичные – производные от первичных, возникшие в результате смешения первичных. Исследователи отмечают "групповой" характер эмоций, проявляющийся в способности эмоциональных состояний к объединению, "базированию" вокруг некоторых основных, "доминирующих" эмоций на основе когнитивного опыта человека.

Таким образом, характеристиками таких групп будут:

- 1) Группировка происходит вокруг одного эмоционального состояния, доминанты, по которому и называется вся группа.
- 2) Доминанты почти всегда лексемы первого плана, наиболее обработанные в языке и наибо-

лее укорененные во всей отраженной в ней словесной культуре.

3) Эмоциональные состояния внутри группы связаны отношениями, основанными на семантической общности и образуют синонимичные ряды.

Основанием для объединения эмоций в пределах единой семантической группы является:

1) Синонимичный характер толкования эмоций.

2) Общее представление о типовом сценарии возникновения, развития и протекания эмоционального состояния. При этом сценарий представляется в виде, причина – проявления.

3) Общность причины эмоционального состояния.

Таким образом, выходными значениями будут: $Emotion = \{y_1, y_2, y_3\}$, где $y_1 = \text{"Радость"}$. Фактически это можно назвать совокупность положительных эмоций; $y_2 = \text{"Нейтральное состояние"}$; $y_3 = \text{"Отрицательные эмоции"}$ $y_3 = \{y_{31}, y_{32}, y_{33}\}$, где $y_{31} = \text{"Гнев"}$; $y_{32} = \text{"Страх"}$; $y_{33} = \text{"Горе"}$.

Несложно заметить, что положительные эмоции меньше представлены в системе эмоциональных состояний, на самом деле, в речи значительно более выражены и проще определяемы отрицательные эмоции, а положительные очень сложно выделяемы. Возможно, это связано с тем, что визуально человек легче и эффективнее определяет положительные эмоции.

Установим функциональные зависимости акустических параметров и выходных параметров. Функциональная зависимость от акустических параметров имеет вид:

$$y = -195,097 + 0,353 \cdot X_H + 0,614 \cdot t_H + \\ + 0,344 \cdot P_H - 0,000162 \cdot X_H^2 - \\ - 0,0000751 \cdot X_H \cdot t_H - 0,000314 \cdot X_H \cdot P_H - \\ - 0,0146 \cdot t_H^2 + 0,00071 \cdot t_H \cdot P_H - 0,000189 \cdot P_H^2,$$

где X_H – нормированные значения спектра; t_H – нормированное время пребывания сигнала в полосах спектра; P_H – относительная мощность спектра речи в полосах.

Таким образом, для каждой полосы мы должны вычислить значение y , найти среднеарифметическое по кадру в целом, и посмотреть какое значение будет принимать y . Если y выходит из интервала $[-4; 4]$, то требуются дополнительные вычисления, а именно исследование параметров отдельных звуков ([А], [О], [Е], [И]).

При этом стоит отметить, что фактически оказались не используемыми вариация огибающих спектра и коэффициент кросскорреляции.

Первые параметры показали низкую корреляционную зависимость от y . И поэтому были выведены из рассмотрения. Однако эти параметры имеют важное значение для установки индивидуальности диктора и потому их влияние оставлено на перспективу дальнейших исследований.

Используя параметры, определенные на гласных звуках и лингвистические параметры, мы разделяем пространства входных и выходных сигналов на области. Вторым шагом является построение обучающих правил на основе обучающих данных. Третьим шагом является создание базы нечетких правил. Причем при создании мы учитываем степень истинности нечетких правил. По нечетким правилам производится вывод и определяется эмоциональное состояние.

Последовательность определения эмоционального состояния человека по речи будет следующей. После квантования и фильтрации гребенкой из 24 фильтров, речевой сигнал представляется в виде последовательности значений кратковременных энергетических спектров, измеренных в моменты времени $j = 1, 2, \dots, J$ каждые 5,7 мс. Значение 5,7 мс выбрано экспериментально. Таким образом, речевой сигнал представим в виде: $\{x(0,j), \dots, x(i,j), \dots, x(23,j)\}$, $j = 1, 2 \dots J$, где $x(i,j)$ – значение сигнала на выходе i -го полосового фильтра в j -м кратковременном энергетическом спектре; J – общее количество спектральных срезов на анализируемом отрезке. После разделения на полосы некоторые полосы отбраковываются. После этого находятся параметры, характеризующие речевой поток и по функциональной зависимости находится соответствующая параметрам эмоция.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рамашвили, Г. С. Автоматическое опознавание говорящего по голосу / Г. С. Рамашвили. – М., 1981. – 416 с.
2. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition [Электронный ресурс]. – [2000]. – Режим доступа: <http://www.cs.berkeley.edu/~murphyk/Bayes/rabiner.pdf>.
3. Радзишевский, А. Ю. Основы аналогового и цифрового звука / А. Ю. Радзишевский. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 288 с.
4. Noguerras, A. "Speech emotion Recognition Using Hidden Markov Models" / A. Noguerras, A. Moreno, A. Bonafonte. – Paris: Eurospeech, 2001. – 245 p.
5. Morozov, V. P. Emotional expressiveness of the Singing Voice: the role of macrostructural and microstructural modifications of spectra / V. P. Morozov // Scand Journ. Log. Phon. MS. – № 150, 1996. – P. 1–11.
6. Связь акустических параметров с эмоциональной выразительностью речи и пения. – [Электронный ресурс]. – [2003]. – Режим доступа: <http://rus.625-net.ru/audioproducer/2003/02/aldo.htm>.

УДК 677 55

А. Ю. Силина, В. Д. Васильева, В. Е. Дербишер
НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ
В ТЕКСТИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Волгоградский государственный технический университет (cad@vstu.ru)

Проведено исследование отечественных информационных потоков в текстильной отрасли. С помощью наукометрического анализа выявлен ряд закономерностей развития информационных потоков, что может способствовать: поиску наиболее эффективных и актуальных научно-исследовательских направлений, всестороннему качественному анализу при принятии решений для обоснования капиталовложений в различные разработки научно-исследовательских учреждений.

Ключевые слова: производство текстильных материалов, информационные потоки, наукометрический анализ.

A. Y. Silina, V. D. Vasilieva, V. E. Derbisher
THE NAUKOMETRICHESKY ANALYSIS OF DOMESTIC INFORMATION STREAMS
IN TEXTILE BRANCH

Research of domestic information streams in textile branch is conducted. With the help the analysis a number of laws of development of information streams that can promote is revealed: to search of the most effective and actual research directions, the all-round qualitative analysis at decision-making for a substantiation of capital investments in various workings out of research establishments.

Manufacture of textile materials, information streams, the metric analysis.

Объем информации и скорость ее накопления во всех областях знаний стремительно растут, что побуждает специалистов в условиях сильной зашумленности этой информации проводить диагностирование и оценку научно-технической деятельности с целью, например, прогнозирования тенденций ее развития, финансирования и стимулирования приоритетных разработок. Особое значение в современных рыночных условиях последнее имеет для отечественных информационных потоков, касающихся производства и исследования текстильных материалов и косвенно отражающих современное состояние текстильной отрасли и некоторых смежных отраслей.

Продолжая научные исследования, проводимые ранее [1, 2], нами был изучен информационный поток (поток публикаций) за период 2000–2006 гг., сформированный следующими отечественными научными журналами и изданиями, специализирующимися или эпизодически публикующими информацию в области технологии получения и исследования свойств текстильных (волокнистых) материалов: "Вестник Костромского государственного технологического университета", "Вестник Московского государственного университета дизайна и технологии", "Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна", "Известия вузов. Технология текстильной промышленности", "Легкая промышленность", "Мир текстиля", "Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты", "Рынок легкой промышленности", "Текстиль", "Текстильная промышленность", "Технический текстиль", "Физика и химия обработки материалов", "Химические волокна", "Химическая промышленность",

"Швейное производство", "Швейная промышленность", РЖ и др. – всего 39 изданий.

В процессе изучения движения тематической информации в области текстильных материалов применялись методы наукометрического, библиометрического анализов, в последнее время достаточно широко применяемые для изучения информационных потоков в самых различных областях науки и техники [3–5]. Перечень библиометрических показателей, использованных в данном исследовании, и их характеристика приведены в таблице.

Таблица

Характеристика библиометрических показателей

| Наименование | Формула | Обозначения |
|------------------------------|----------------|--|
| Импакт-фактор | $IF = q/M$ | q – общее количество ссылок в общем потоке на данный журнал за 5 лет; M – количество опубликованных статей в данном журнале за 5 лет; |
| Коэффициент самоцитируемости | $IC = p/n$ | p – общее количество ссылок самоцитирования в микропотоке; n – общее количество ссылок в микропотоке, формирующего данный журнал; |
| Индекс Прайса | $IP = m/(n-m)$ | m – количество ссылок на оперативную литературу (возрастом менее 5 лет); $(n-m)$ – количество ссылок на архивную литературу (возрастом более 5 лет) |
| Индекс оперативности | $IO = m^*/m$ | m^* – количество ссылок на супероперативную литературу (возрастом менее одного года). |

Для проведения метрического анализа была создана база данных (БД) в формате Microsoft Access, содержащая организованный массив из публикаций, в котором каждая публикация охарактеризована подробными библиографическими данными, включая информацию о количестве самоцитирования авторов и самоцитируемости журнала, количестве иностранных ссылок, информацию о научном учреждении, где проводились исследования и другие данные. Фрагмент базы данных приведен на рис. 1.

С помощью системы запросов, используя сформированную БД, определено распределение потока публикаций между различными источниками, обобщенно представленное на рис. 2.

Анализ информации, опубликованной в ведущих изданиях за период 2000–2006 гг., показывает, что наибольший вклад (52 %) в общий информационный поток публикаций из перечисленных выше вносит журнал "Известия вузов. Технология текстильной промышленности", публикующий результаты самого широкого спектра научно-исследовательских и технологических работ в предметной области. Доля профильных материалов, представленных журналами "Химические волокна" и "Текстильная промышленность", в том числе "Альманах текстильной промышленности", несколько ниже, что связано, очевидно, со специализацией журнала "Химические волокна" и с определенной производственной и рекламной направленностью основного выпуска журнала "Текстильная промышленность".

С целью дифференцирования собранной информации и оценки в информационном смысле конкурентоспособности отдельных научно-технических областей исследований были

выделены следующие тематические направления, достаточно полно, по нашему мнению, охватывающие коллегиальные пристрастия российских исследователей:

1) свойства текстильных материалов, методы исследования этих свойств, рационализация существующих материаловедческих методов и приборов, создание новых методов и приборов;

2) процессы получения и переработки текстильных материалов (волокон, нитей, полотен, отходов и т. д.), совершенствование оборудования и увеличение интенсивности (эффективности) производства, улучшение качества выпускаемой продукции;

3) получение новых текстильных и смежных материалов (новой физико-химической природы, новой структуры, нового назначения и т. д.), адаптация их к потребностям общества;

4) создание новых технических решений, интеллектуальной собственности: технологий, машин, агрегатов и т. д. для получения и переработки волокнистого сырья; производство текстильных материалов (изделий) с новыми технико-потребительскими функциями;

5) охрана окружающей среды и решение экологических задач при производстве и потреблении волокнистых материалов, в том числе использование текстильных материалов для экологии (фильтрация, адсорбция и т. д.), создание экотехнологий;

6) проблемы развития самой текстильной отрасли, закономерности изменения потребительского спроса, экономический потенциал текстильных предприятий, прогнозирование отраслевых особенностей, прогнозирование науки.

| | В | С | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | С |
|---|--|--------------|------------|--------------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 1 | | самоцит авт. | цит. журн. | н.-иссл. учрежд. | иностр. ссылки | 2005 | 2004 | 2003 | 2002 | 2001 | 2000 | 1999 | all | сум |
| 2 | Использование геометрической зоны формирования ткани для определения величины прибойной полосы | 1 | 1 | ВНИИ тек. и лег. машстр РЗИТЛП | | 1 | | | | | | | | 3 4 |
| 3 | Оценка эффективности применения гуминовых кислот в лейкокислой технологии крашения текстильных материалов кубовыми красителями | 1 | | Иванов. институт химии р-ров | 8 | | 1 | 1 | | 3 | 1 | 1 | 11 | 18 |
| 4 | Анализ возможного регулирования натяжения прошивных нитей на вязально-прошивной машине | | | МГУ им. Косыгина | | | | | | | | | | 0 |

Рис. 1. Фрагмент базы данных



Рис. 2. Распределение публикаций между российскими изданиями

Количественные данные по этим шести тематическим направлениям, характеризующие распределение публикаций, представлены на рис. 3. Как видно из рис. 3, наибольшее количество публикаций связано с исследованием свойств текстильных материалов (38 %), рассмотрением вопросов экономики и развития отрасли (36 %) и модернизации текстильного оборудования (20 %). Меньший интерес заметен к проблемам создания новых текстильных материалов и технологий (1 % и 3 % соответственно). Последний результат, на наш взгляд, частично можно объяснить как состоянием промышленности в целом, в том числе текстильной, так и тем, что подобные наукоемкие разработки требуют значительных материальных и интеллектуальных ресурсов. Однако, по нашему мнению, именно здесь можно ожидать, так называемых, прорывных технических решений.

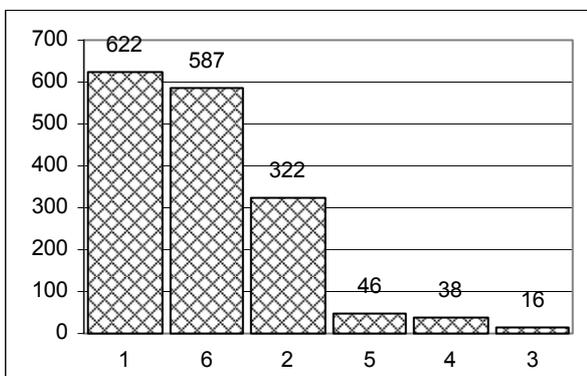


Рис. 3. Распределение публикаций по тематическим направлениям

Анализ данных, представленных в БД, позволил также определить сложившиеся в анализируемый период основные тематические направления каждого отдельного издания, что позволяет заинтересованным лицам с большей оперативностью находить необходимую информацию и искать союзников в решении научно-технических задач. Так, издание "Известия вузов. Технология текстильной промышленности" занимается самыми широкими вопросами науки и технологии: текстильной техникой и технологией, экономикой и организацией производства, механизацией и автоматизацией технологических процессов, а также некоторыми смежными вопросами. В журнале "Текстильная промышленность" больше внимания уделяется статьям технологического и технико-экономического характера, журнал имеет более выраженный прикладной характер. Тематическое направление журнала "Химические волокна" – исследование свойств и модификация химических волокон и других текстильных материалов на их основе.

На примере информационного микропотока, образованного журналом "Известия вузов. Технология текстильной промышленности", были исследованы тенденции изменения числа публикаций в рамках указанных выше тематических направлений в период 2002–2006 гг., отраженные на рис. 4.

Анализ движения информации в исследуемый период (см. рис. 4) показал, что некоторое увеличение числа публикаций прослеживается только по двум направлениям: получение и переработка текстильных материалов и совершенствование текстильного оборудования. Число научно-технических публикаций (а возможно и идей) по другим направлениям имеет тенденцию к снижению, особенно это заметно в последнем году исследуемого периода.

Представлялось интересным также изучение географии проводимых исследований, публикуемых в данном журнале, что отражает активность соответствующих научных, учебных и научно-производственных подразделений. Основными поставщиками информации для журнала являются российские вузы; распределение их вклада в общую копилку информации данного журнала представлено на рис. 5.

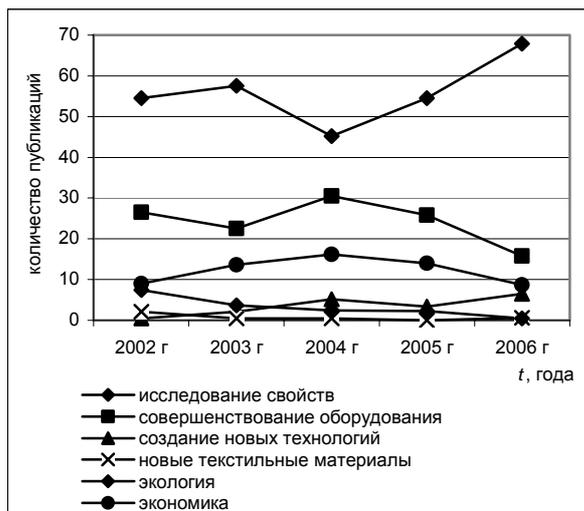


Рис. 4. Тенденции движения информации в тематических направлениях журнала "Известия вузов. Технология текстильной промышленности"

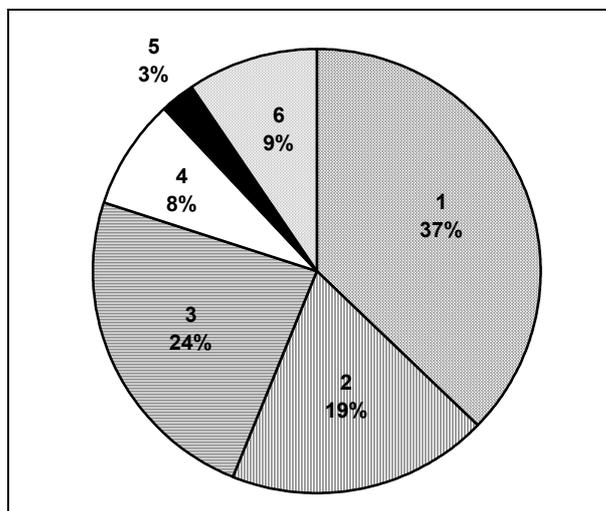


Рис. 5. Распределение числа публикаций за период 2000–2005 гг. между российскими вузами:

1 – Ивановская государственная текстильная академия; 2 – Костромской государственный технологический университет; 3 – Московский государственный текстильный университет им. А. Н. Косыгина; 4 – Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна; 5 – Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности; 6 – Волгоградский государственный технический университет, Казанский государственный технологический университет, Саратовский государственный университет им. Чернышевского, сибирский государственный технический университет и др.

Как видно из рис. 5, наибольший информационный вклад в издательский портфель журнала "Известия вузов. Технология текстильной промышленности" вносят три ведущих профильных вуза страны: Московский государственный текстильный университет им. А. Н. Косыгина, Ивановская государственная текстильная академия, Костромской государственный

технологический университет. В других вузах наблюдается локальная активность, например, в отдельных областях текстильной науки наблюдается большой вклад Российского заочного института текстильной и легкой промышленности. Кроме того, значительное количество работ проводится совместно с другими вузами, в т.ч. зарубежными и отраслевыми научно-исследовательскими учреждениями (ВНИИ по переработке лубяных культур, НИИ хлопчатобумажной промышленности), а также некоторыми промышленными предприятиями (ОАО "Каменскволокно", НПО "Орион ВДМ" Новочеркасск, ОАО "НИИТЭХим", завод нетканых материалов "Термопол-Москва" и др.)

Библиометрический анализ публикуемых работ в данном журнале показал, что примерно 30 % литературных ссылок представляют собой ссылки на иностранную литературу, способствующие распространению идей зарубежных авторов в отечественных исследовательских работах.

Кроме того, было установлено, что около 10 % научных публикаций вообще не содержит никаких библиографических ссылок, 85 % – содержат половину всех ссылок (в каждой работе от 1 до 8 ссылок), оставшиеся 5 % публикаций – обзорные работы, характеризующиеся большим числом ссылок. В среднем, в каждой работе содержится около 10 ссылок, из которых 8–9 представляют собой ссылки на статьи в научных журналах, остальные – ссылки на патенты и ГОСТы.

Динамика изменения библиометрических показателей информационного микропотока (см. табл.), формируемого журналом "Известия вузов. Технология текстильной промышленности", представлена на рис. 6.

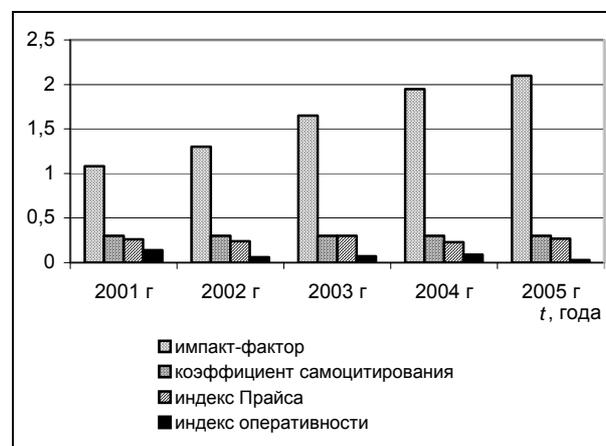


Рис. 6. Характеристика микропотока публикаций

Как следует из рис. 6, значения импакт-фактора (IF, см. табл.), определяющего информационную значимость научного журнала, вычисленные на основании данных за исследуемый период, монотонно возрастают. Этот факт позволяет говорить о том, что научный уровень и авторитет рассматриваемого журнала увеличивается.

Коэффициент самоцитируемости (IC), показывающий, как часто данный журнал ссылается на статьи, опубликованные этим же журналом ранее, оставался неизменным на протяжении исследуемого периода, что свидетельствует о стабильной популярности данного журнала в научном сообществе. Авторы предпочитали неоднократно публиковать в нем свои работы. Кроме того, авторы неоднократно ссылались на свои же публикации в этом журнале, что говорит об их продолжительной работе в одном научном направлении.

Индекс Прайса (IP), представляющий собой отношение количества "оперативных" ссылок к общему "архивному" количеству ссылок, в течение исследуемого периода равнялся примерно 30 %, что свидетельствует о том, что большая часть ссылок относилась к "архивным" статьям [5]. Таким образом, новые публикации связывали своими ссылками только незначительную часть опубликованной ранее ("оперативной") литературы, которая может быть отнесена к активному исследовательскому фронту науки.

За меру творческой активности ученого в наукометрии принято брать количество работ, опубликованных им в течение определенного времени. Индекс оперативности (IO) определяет скорость опубликования научных работ. Для данного журнала индекс оперативности равен 0,06–0,14, откуда следует, что каждый год появляется 6–27 ссылок текущего года. Данный показатель характеризует работу исследовате-

лей, публикуемых в данном журнале, как динамичную, в плотном режиме.

Среднее количество авторов публикаций равно 2,3. Причем многие коллективы соавторов неоднократно встречались на протяжении всего исследуемого периода. Научная публикация является не столько информацией как таковой, сколько выражением наличного в данный момент в науке положения ученого или группы ученых [5]. Именно поэтому состав и порядок соавторов, выступают в качестве указателей на социальные связи.

Таким образом, проведенное исследование отечественных информационных потоков в текстильной отрасли в целом характеризует некоторое оживление научно-технической деятельности в этой отрасли в последние пять лет. Кроме того, анализ позволил выявить ряд закономерностей развития информационных потоков, что может способствовать: поиску наиболее эффективных и актуальных научно-исследовательских направлений, всестороннему качественному анализу при принятии решений для обоснования капиталовложений в различные разработки научно-исследовательских учреждений и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распределение информационного потока в текстильной промышленности / В. Е. Дербишер, В. Д. Васильева, Е. В. Дейнега, Е. В. Коннова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности 2001. – № 6. – С. 114–115.
2. Анализ информационных потоков в области искусственных кож / В. Д. Васильева, В. Е. Дербишер, Е. В. Корчагина, Т. М. Кокорина // Кожевенно-обувная пром-ть. – 2003. – № 1. – С. 49–50.
3. Хайтун, С. Д. Проблемы количественного анализа науки / С. Д. Хайтун. – М.: Наука, 1989. – 152 с.
4. Маршакова-Шайкевич, И. В. Вклад России в развитие науки: библиометрический анализ / И. В. Маршакова-Шайкевич. – М., 1995. – 124 с.
5. Прайс, Д. С. Квоты цитирования в точных и неточных науках, технике и не-науке / Д. С. Прайс // Вопросы философии. – 1971. – № 3. – С. 149–155.

УДК 004.41

И. Б. Вахранев

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ООО "Волгоградтрансгаз", Волгоград (cad@vstu.ru)

В данной статье рассматриваются проблемы построения АСУ. Приводятся основные пути решения этих проблем. Предлагается методика организации системы с помощью подсистем. Приводятся особенности и преимущества данного подхода. Приводится описание примера использования данной методики при создании АСУ.

Ключевые слова: архитектура системы, подсистемы.

I. B. Vakhranев

METHOD OF CREATION INFORMATION SYSTEM ARCHITECTURE

This paper shows CAD system creation problems. It describes basic ways to solve those problems. Approach is suggested in paper is based on subsystems. It gives fishes of this approach and there is the example shows way to use this methodic. Architecture of system, subsystems.

1. АКТУАЛЬНОСТЬ

"Появилось ошибочное мнение, что если каждый из компонентов системы может функционировать автономно, а связи между ними – "всего лишь" вопрос программного обеспечения, то целостное проектирование, в конце концов, необязательно" (ЭВМ в проектировании и производстве. Машиностроение 1985). Наблюдая сегодняшнюю ситуацию вокруг проектирования ПО, нельзя не отметить, что проблема, обозначенная более 20-ти лет назад, во многом актуальна и поныне.

Эффективное решение задач автоматизации предприятий представляет собой довольно сложную проблему, обусловленную стремлением использования процессного подхода в управлении, постоянным изменением набора объектов предметной области, необходимостью включения все новых задач в контур автоматизации.

Помимо решения системой своих прямых задач, для пользователей, становится крайне желательным, наличие в ее составе средств интеграции с другими системами.

Подобная информационная система, учитывая необходимость окупаемости трудозатрат на ее проектирование, должна быть многопрофильной и универсальной. При помощи такой системы должна быть возможной реализация прикладных решений для различных сторон различных предметных областей. Эти решения должны в максимально допустимой степени удовлетворять все потребности служб и отделов предприятий, сохраняя существующие деловые процессы, а также методы и структуру управления.

Доминирующим принципом построения такой информационной системы должен стать принцип расширения контура автоматизации,

т. е. способность гибко и оперативно перестраивать алгоритмы бизнес-функционирования, охвата системой автоматизации новых задач.

В значительной мере на конкурентоспособности продукта, на возможности обеспечивать заданный уровень функциональности в дальнейшем, сказывается технологичность системы в эксплуатации, в условиях ее непрерывающейся модификации и модернизации, рефакторинга в частности ("... не секрет, что многие проекты проваливались ввиду своей нетехнологичности" [Фулер "Рефакторинг"]). Т. о. необходимо понимание того факта, что технологичность системы при эксплуатации, определяется архитектурными решениями, положенными в ее основу при проектировании и закладывается еще на стадии проектирования концепции системы.

2. КОНТУРЫ ПРОБЛЕМЫ

Комплексная ИС каждого предприятия всегда имеет свои специфические особенности, требует специальной разработки и не может создаваться путем тиражирования ранее разработанных систем других предприятий или приобретения готовых законченных систем. Каждое предприятие имеет отличные от других состав и структуру прикладных систем, базы данных, инженерные знания, системы документирования и самое главное – реализует свой собственный набор бизнес-процессов.

Очень трудно (а зачастую и просто невозможно), разработать общую архитектуру системы, которая детерминированным образом определила бы все будущие информационные потоки, все возможные состояния. Т. о. система не должна быть жестко запрограммирована, а должна иметь механизмы адаптации к решениям новых задач.

Как уже отмечалось, выживание системы в условиях изменения требований предъявляемых к системе, а также круга решаемых ею задач, напрямую зависит от заложенных в ее основу архитектурных решений.

На сегодняшний день не существует достаточно формализованной методики, определяющей четкую зависимость между процессом создания ПО и типом создаваемого продукта. Существующие методики проектирования, обеспечивают общий каркас моделирования систем. В самом деле, ни один из типов UML-диаграмм, к примеру, не имеет какой-то сугубо утилитарной проблемной направленности. Такой проблемно-независимый подход позволяет получить универсальную и крайне гибкую методику моделирования сложных программных систем. Тем не менее, хотелось бы обратить внимание и на то, как соотносятся проблемные области, для которых проектируется та или иная система и сама методика разработки систем. Ведь существуют системы, решающие некий определенный круг проблем, которые можно выделить как некоторый класс задач, с их характерными особенностями. Вместе с тем, существуют и некоторые задачи общего характера, которые должны реализовывать любые приложения, чтобы добиться заданного уровня общесистемной функциональности (требования безопасности, к примеру).

Несмотря на победное шествие таких методологий проектирования, как RUP (реализация UML от RationalRose) и др., не существует достаточно формализованной методики разработки архитектуры приложения в целом как таковой. Такие важные этапы проектирования и разработки систем, как создание иерархии классов, выбор набора подсистем и пр., на сегодняшний день, не имеют под собой в достаточной мере формализованных методов проектирования. Успешный результат здесь зависит в значительной мере от опыта и интуиции проектировщиков. Эмпирически найденными решениями в этой области, на сегодняшний день, является широко применяемое использование шаблонов. Как пример, можно привести т. н. "паттерны проектирования".

3. ПУТИ РЕШЕНИЯ

3.1. Направления создания ИС

Можно выделить четыре основных направления создания ИС:

1. Разработка решения для конкретного предприятия с применением высокоуровневых

алгоритмических языков. Главное преимущество данного направления состоит в потенциальной гибкости и адекватности решений получаемых на этапе проектирования. Это следует из применения универсальных языковых средств и сред разработки. Недостаток обуславливается теми же факторами, только действующими в процессе эксплуатации системы: для изменения жестко запрограммированной системы требуется наличие исходных кодов, проектной документации и привлечение достаточно квалифицированных специалистов. Из сказанного ясно следует, что данный путь решения проблемы является абсолютно не гибким, а кроме того, в случае реализации системы сторонней фирмой, предприятие-заказчик, становится "заложницей" последней.

2. Многомодульная единая комплексная система, с возможностью адаптации модулей, реализующих типовые решения. Данный подход гораздо более гибок к условию необходимости изменения бизнес-поведения системы в процессе эксплуатации, тем не менее типовые решения, зачастую не могут в полной мере реализовать все требования предприятия, предъявляемые к ИС.

3. Система создаваемая на базе интеграции отдельных пакетов различных производителей, причем каждый из пакетов решает одну из функциональных задач предприятия. Данный подход обладая достаточной функциональной гибкостью, тем не менее, обладает определенной избыточностью (автоматизируемые задачи, могут использовать общие информационные структуры) и недостаточной эргономичностью (никогда не стоит забывать, что конечный пользователь системы – человек, и от удобства его работы зависит эффективность решения производственных задач). К тому же следует принимать во внимание тот факт, какие именно стандарты интеграции и взаимодействия поддерживают конкретные системы используемые на конкретном предприятии.

4. Системы, реализующие прикладные решения на базе программных метасистемных инструментов. Обладают гибкостью на этапе создания прикладных решений, близкой к системам первого типа, но что еще важнее, так же гибки и в процессе эксплуатации системы.

5. Системы, комбинирующие в той или иной пропорции вышеуказанные направления. Очевидно, что системы данного типа, при грамотном подходе, потенциально способны реализовать преимущества первых четырех типов систем.

После выбора направления, представляющего собой базис для последующего архитектурного проектирования, необходимо решить вопрос о декомпозиции системы до уровня подсистем.

3.2. Подсистемы

Для выделения в проектируемой системе подсистем, требуется наличие двух условий:

1) наиболее точного определения задач, в соответствии с которыми выделяется подсистема;

2) установление того множества элементов, из которых система выделяется, а также классификационного признака выделения.

В основу выделения взаимосвязанных частей системы могут быть положены различные признаки. Поэтому в информационных системах могут быть выделены различные комплексы взаимосвязанных подсистем. Характерные признаки, используемые для деления на подсистемы, выбираются в зависимости от целей исследования и используемого аппарата анализа.

Подсистемой будем считать часть системы, выделенную по некоторому признаку, отвечающему целям и задачам исследования, в котором она может рассматриваться самостоятельно как система. Осталось только определиться с вопросом, какие признаки должны быть положены в основу. В целом, окончательное выделение подсистем, всегда носит в информационных системах индивидуальный характер, поскольку фактор субъективности здесь присутствует всегда.

Часто проблему деления системы на подсистемы, решают как декомпозицию проблемы автоматизации на задачи. При таком подходе программная подсистема понимается, как отображение задачи на информационную систему, а система, в свою очередь, как набор программных средств, предназначенных каждое для решения своей специфичной задачи. Таким образом порождается явление, получившее название "лоскутная автоматизация". Проектирование ИС, как системы автоматизации бизнес-процессов, также зачастую порождает у разработчиков соблазн использования в качестве критерия выделения подсистем то или иное участие в бизнес-процессной структуре. Недостаток данного подхода заключается в одностороннем представлении системы только как системы автоматизации каких либо прикладных задач. Тем не менее, любая система помимо сугубо утилитарной функциональности, должна обеспечивать и некоторые наиболее общие тре-

бования. Данное замечание находит отражение в разделении требований, предъявляемых к системам, на функциональные и нефункциональные требования.

Функциональные требования – описывают поведение системы и сервисы, которые она предоставляет. Бывают пользовательские (в наиболее общем виде) и системные (наиболее подробно описывают систему).

Нефункциональные требования – связаны с интеграционными свойствами системы, надежность, безопасность и т. п. Могут определять ограничения на систему (пропускная способность и пр.). Поскольку они относятся к системе в целом, то они более критичны, чем отдельные функциональные требования. Ошибка, допущенная в функциональном требовании, может снизить качество системы, ошибка в нефункциональном требовании, как правило, приводит к неработоспособности системы в целом.

Любую систему можно рассматривать в двух перспективах: прикладной и собственно системной.

Прикладная перспектива, в общем, соответствует функциональным требованиям, тому, как система будет выполнять свое прямое предназначение. Данную перспективу можно было бы назвать прямой. Главное предназначение бухгалтерской системы, к примеру, – обеспечить адекватную поддержку ведения бухгалтерского учета на предприятии (поддержку бизнес-процессов бухгалтерского учета).

Собственно системная перспектива, с помощью которой мы можем рассматривать проектируемую систему как таковую, на самом деле гораздо шире прикладной перспективы, вызвано это тем, что любая система, осуществляет свое функционирование в контексте некоторого внешнего окружения. И обеспечение адекватного выполнения своего прямого предназначения, при этом – лишь часть стоящих перед системой задач.

Следовательно, независимо от того, какие функциональные требования мы будем выдвигать к системе, в первую очередь, необходимо знать, какие стороны вообще могут представлять проектируемую систему. Должны быть какие-то общие закономерности в строении систем, обеспечивающие их целостное функционирование, системную целостность и зависящие скорее от контекста взаимодействия элементов системы и от взаимодействия системы с окружением.

В рамках системной перспективы мы также можем выделить некоторую совокупность элементов, обеспечивающих выполнение системой нефункциональных требований и являющихся проекциями этих требований на области функциональности системы. Назовем эти проекции "асpekтами" (согласно толковому словарю слово "Аспект" означает точку зрения, с которой рассматривается какая-либо перспектива).

"Аспект функционирования" – проекция требований на область функциональности системы.

С этой аспектной точки зрения, прикладную перспективу можно также считать отдельным аспектом функционирования.

Проблема корректного выделения аспектов функционирования, представляет из себя довольно нетривиальную задачу, поскольку исходные посылки могут быть получены только на основе субъективного феноменологического подхода, имеющему место в самом начале проектирования на этапе определения требований. В принципе, такой подход допускает использование каких-то типовых predeterminedных требований – паттернов.

В качестве критерия определяющего границы выделяемых аспектов, которые можно еще трактовать и как проблемные области, можно выделить критерий отношения к информации. Любая информационная система по сути есть система, в которой ее элементы, цель, ресурсы, структура, рассматриваются на информационном уровне, т. е. предметом действия данной системы является информация. Таким образом мы можем выделить следующие проблемные области:

1. Хранение прикладной и служебной информации;
2. Защита прикладной и служебной информации;
3. Обработка прикладной информации;
4. Инфраструктура поддержки отображение информации;
5. Диспетчирование информационных потоков.

Тогда в качестве набора паттернов функциональных аспектов, можно выделить четыре паттерна: "управление", "хранение", "безопасность", "пользовательский интерфейс". Реализацию требований прикладной области, можно также рассматривать как отдельный паттерн – "прикладной аспект".

Декомпозиция аспектов функционирования на более мелкие элементы, предназначенные для решения более узкого круга проблем, может быть представлена в виде графа (рис. 1).

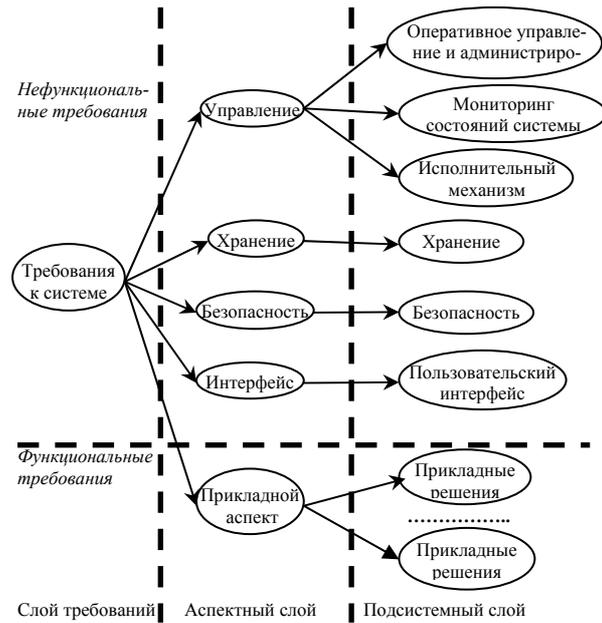


Рис. 1. Граф декомпозиции аспектов функционирования

Схема представляет собой ориентированный граф связности, который разбивается на слои, т. е. множество вершин слоя не соединены между собой дугами.

Подсистема – это система, операции (методы) которой не зависят от сервисов, предоставляемых другими подсистемами. Подсистемы состоят из модулей, но и сами подсистемы можно рассматривать, как функциональные модули, к которым соответственно применимы критерии связности и сцепления модулей.

В плане взаимосвязи подсистем друг с другом, можно отметить тот факт, что подсистемы должны предоставлять один или несколько сервисов для других подсистем. Соответственно, есть смысл и в том, чтоб на подсистемном уровне некоторые аспекты представлялись несколькими подсистемами.

Предлагаемая архитектура системы напрямую определяет реализацию нефункциональных требований:

Производительность – за критические операции отвечает как можно меньшее количество подсистем, с максимально малым взаимодействием между ними.

Защищенность обеспечивается многоуровневой архитектурой, критические операции в глубине, а проверка безопасности на верхнем уровне.

Безопасность – за ее обеспечение отвечает отдельная подсистема безопасности.

Надежность достигается за счет изоляции реализации аспектов функционирования в подсистемах.

Удобство сопровождения – компоненты создающие данные отделены от компонентов, использующих данные. Не допускается совместное использование данных компонентами.

3.3. Управление

Высоко централизованные и иерархически упорядоченные системы могут оказаться негибкими и вследствие своего крайнего формализма, способными на выполнения только очень узкого круга решаемых ими задач. Другая крайность – фрагментация системы до мелких, полностью автономных единиц, каждая из которых стремится реализовать свои цели, не сообразуясь с целями системы.

Архитектуру управления можно представить в виде шино-ориентированной сети. Роль предполагаемой шины можно представить в виде некоторого компонента системы, осуществляющего, как коммуникацию между подсистемами, так и осуществляющего некоторые функции диспетчирования. В самом деле, для обеспечения функционирования системы подобного рода в условиях максимальной гибкости и автономности для ее составляющих, следует позаботиться об установлении и кодировании тех правил, соблюдение которых абсолютно обязательно.

Такая схема центральной шины оправдывается тем, что предоставлять доступ к сервисам той или иной подсистемы, необходимо в соответствии с некоторой логикой управления,

которая должна быть вынесена в некий отдельный функциональный объект. Более того, такой центральный диспетчер-шина может отвечать и за инициализацию/деинициализацию подсистем.

3.4. Архитектура подсистем

Концептуальные уровни подсистем:

- Abstraction management – уровень абстрактного управления. На этом уровне декларируются сервисы подсистем, доступные через интерфейсы.

- Direct management – на этом уровне осуществляется реализация сервисной функциональности и управления.

- Realizing base algorithm of functioning – реализация исполнительных механизмов подсистем.

Преимущества данной модели организации подсистем:

1. Низкая сцепленность подсистем;
2. Высокая связность в подсистемах;
3. Древоподобная структура;
4. Слои древоподобного графа четко функционально и концептуально разграничены;
5. Данные каждой подсистемы образуют изолированные домены хранения – т. е. данные каждой подсистемы хранятся и обрабатываются совершенно независимо и изолированно от данных других подсистем (что способствует масштабируемости системы, и балансировки нагрузки на сервер хранения данных);

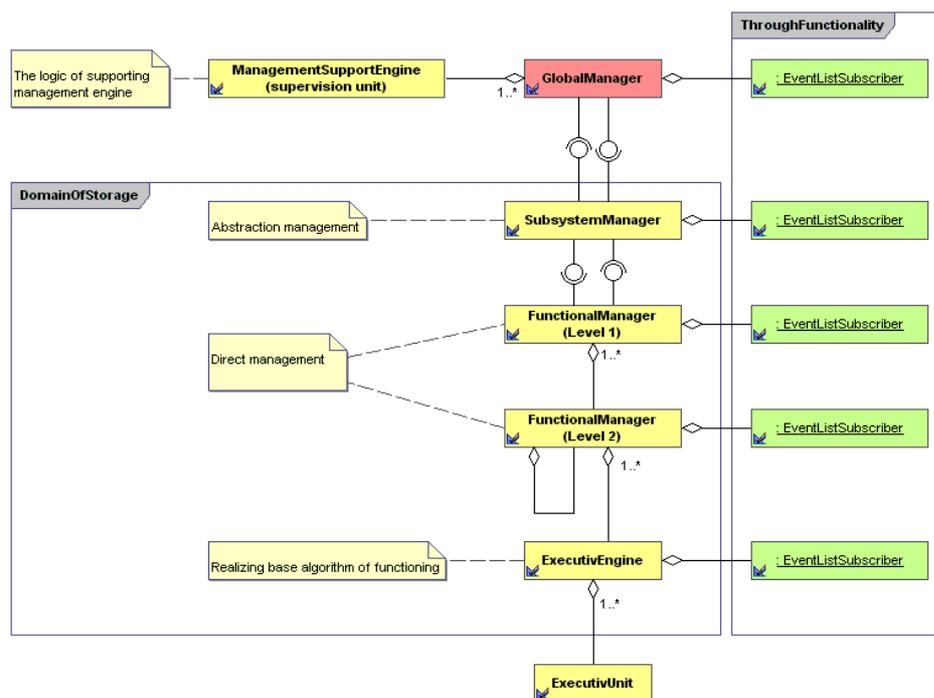


Рис. 2

6. Уровень абстрактного управления обеспечивает возможность полного или частичного отсутствия механизма реализации одной или нескольких подсистем, что крайне технологично для этапа разработки, поскольку позволяет разрабатывать и тестировать подсистемы совершенно независимо друг от друга, не влияя при этом на работоспособность всего комплекса в целом. Т. е. синергия системы проявляется именно на этом уровне.

7. Объектные структуры приложения при разработке могут расширяться и доопределяться путем наследования от классов образующих описание каркаса подсистем и осмысливаемых в виде паттернов.

8. Возможна реализация сквозной функциональности подсистем, обеспечиваемая их инфраструктурой, ключевым элементом которой являются списки подписчиков событий (тем самым данная модель преодолевает ограничения централизованной модели управления "вызов-возврат").

3.5. Создание прикладных решений

В рамках предлагаемой подсистемной модели возможна реализация нескольких путей создания прикладных решений. Главными являются два направления:

1. Создание агрегированных подсистем, реализующих прикладные решения.
2. Моделирование прикладных решений в слое специальной подсистемы метамоделирования (рис. 3).

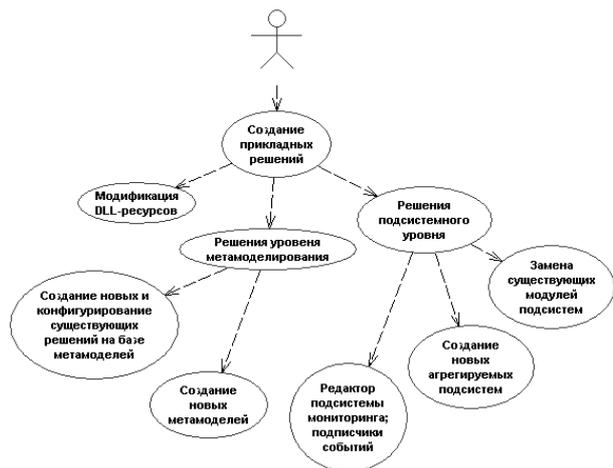


Рис. 3. Создание прикладных решений

3.6. Подсистема метамоделирования

Одна из проблем управления программными проектами состоит в том, что значительное число требований изменяется в процессе разра-

ботки и последующей эксплуатации систем. В традиционных подходах к разработке план создается в самом начале процесса, и команда старается реализовать этот план в заданное время и с заданным бюджетом. Однако недавнее исследование показало, что около 65 % требований к программному продукту изменяется в ходе работы над ним. Это означает, что 65 % созданных функций никогда не используется, они не востребованы заказчиками, а на разработку продукта уходит почти в два раза больше времени, чем нужно, и обходится она вдвое дороже. Возникает необходимость модификации программного продукта уже внедренного в эксплуатацию. Т. е. возникает необходимость в ходе эксплуатации системы модифицировать ее бизнес-логику, т. е. фактически дорабатывать и перестраивать принципы бизнес-функционирования приложения "на лету", в ходе эксплуатации.

Одним из путей выхода из подобной ситуации, является предлагаемая методика использования моделей прикладных решений в совокупности с программным обеспечением, способным динамически исполнять прикладную модель.

Согласно этому подходу, моделируемая прикладная область описывается рядом моделей, которые должны быть согласованы, обладать свойствами целостности и непротиворечивости. Данная подсистема обеспечивает семантическое и структурное моделирование предметной области (подобно тому, как это осуществляется в конфигураторе системы "1С Предприятие"). Эти модели предназначены для описания объектов прикладной области, их структуры и взаимосвязей. Объекты представляются в модели в виде метаклассов, т. е. классов, отображающих абстракцию типов прикладных объектов и инкапсулирующих в себе атрибуты и способы представления этих атрибутов. Именно в описании метаклассов предметная область моделируется в наиболее утилитарном виде. В модели могут быть представлены такие абстракции, как документы, каталоги (журналы) документов, справочники и пр. Описание реализации бизнес-процедур, осуществляется в слое модели метаклассов, на универсальных скриптовых языках, таких, как Visual Basic Script или Java Script.

4. ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ

Предлагаемый подход к созданию архитектуры ИС был частично применен при создании

диспетчерского комплекса в ООО "Волгоград-трансгаз", в настоящее время ведется работа по созданию новой реализации диспетчерского комплекса, в полном объеме реализующий предлагаемые концепции.

Задачи, решаемые диспетчерскими службами газотранспортных предприятий, а также современные требования, предъявляемые к диспетчерским комплексам, определили цели и задачи разрабатываемого проекта:

улучшение организации учета газа и управления транспортом газа на газотранспортном предприятии;

сокращение времени на формирование отчетной документации и повышение эффективности труда;

повышение эффективности поиска отчетной документации;

усиление контроля исполнительской дисциплины путем обеспечения авторизованного доступа и мониторинга действий пользователя;

повышение надежности хранения данных;

организация единого пространства хранения документов – архива электронных документов.

Физически, диспетчерский комплекс, представляет из себя приложение с пользовательским MDI-интерфейсом (MDI-многооконный интерфейс), и соответствующим набором динамических библиотек (DLL). Конфигурирование приложения на текущую работу осуществляется динамически, в соответствии с тем про-

филем пользователя, который был загружен на этапе авторизации при входе в систему. Такой подход существенно упрощает установку комплекса на рабочие места пользователей, поскольку для всех существует один и тот же набор файлов (который достаточно, просто скопировать на рабочее место пользователя). Информация о профилях пользователей хранится на сервере, в рабочей базе данных, обеспечивая, тем самым возможность работы любого пользователя на любом компьютере с установленным диспетчерским комплексом в локальной сети предприятия.

Метапрограммирование системы, ключевой компонентой которого является подсистема метаданных, позволяет исключительно гибко создавать множество прикладных решений в рамках системы при решении различного рода задач. Подсистема метаданных включает средства, позволяющие максимально сократить сроки адаптации системы и создавать множество новых прикладных решений. Ключевую роль в этом играет использование технологии MS ActiveScript и использование языков BasicScript и JScript в качестве языковой среды разработки прикладных решений. В совокупности со встроенным визуальным конструктором форм, такой подход обеспечивает исключительную гибкость системы (рис. 4). Данный подход позволил создать прикладное решение не только для диспетчерской службы головного предприятия, но и для филиалов.

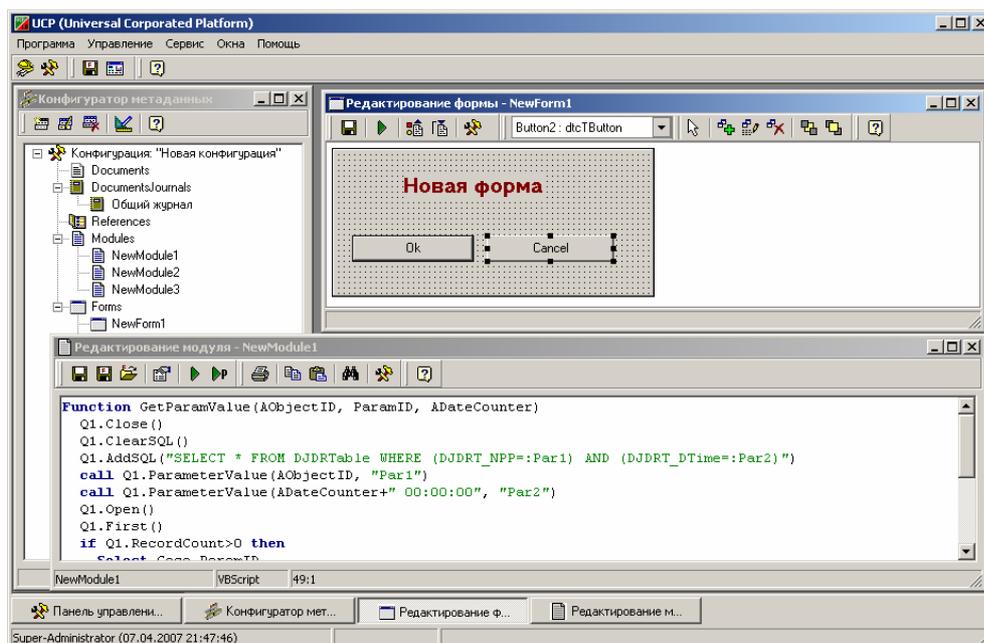


Рис. 4. Конфигуратор системы

Необходимый уровень безопасности обеспечивается применением дискреционной модели доступа к объектам и функциям системы. Устойчивость к взлому достигается использованием профилей безопасности, ассоциированными с пользователями (это означает, что обход механизма авторизации приведет к тому, что в системе не будет авторизованного пользователя и соответственно будет закрыт доступ ко всем функциям системы).

Большое внимание уделено инструментам администрирования и мониторинга системы, как основе эффективного использования данной системы внутри организации. Администратор имеет возможность контролировать

не только общесистемные настройки, но и локальные настройки рабочих мест, имеющих в локальной сети предприятия. Дополнительные возможности по наблюдению за состоянием системы и действиями пользователей доступны администратору через "журнал работы системы".

В результате внедрения проекта улучшилась организация учета газа, повысилась эффективность труда диспетчера.

Отчетная и режимная документация создается в предельно сжатые сроки, что позволяет более оперативно принимать решения, влияющие, в конечном итоге, на коммерческие результаты деятельности предприятия в целом.

УДК 971.39.21

Р. Г. Герейханов

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Национальный банк Республики Дагестан Банка России (gerauf@mail.ru)

Статья посвящена вопросам построения систем управления информационными системами. Рассматривается объектно-ориентированный подход при построении управления распределенными системами, позволяющий интегрировать систему управления ИТ с системой управления предприятия в целом.

Ключевые слова: ИС – информационная система; СКП – система коллективного пользования; SMNP – (Simple Management Network Protocol) – протокол управления простой сетью; CMIP – (Common Management Information Protocol) – протокол управления общего типа; ODP (Open Distributed Processing) – открытая распределенная обработка данных; CORBA – (Common Object Request Broker Architecture) – общая архитектура брокера объектных запросов; CIM – (Common Information Model) – общая информационная модель; MOF (Managed Object Format) – формат управляемых объектов.

R.G. Gereikhanov

SOME ASPECTS OF INFORMATION SYSTEM MANAGEMENT.

The Article is dedicated to problems of the building managerial systems of information systems. The object-oriented approach is considered at building of management portioned systems, allowing integrate the managerial IT system with managerial system of the enterprise as a whole.

IS – an information system; SCU – a collective use system; SMNP – Simple Management Network Protocol; CMIP – Common Management Information Protocol; ODP – Open Distributed Processing; CORBA – Common Object Request Broker Architecture – a general architecture of the broker object request; CIM – Common Information Model; MOF – Managed Object Format.

Проблемы управления ИС

Информационные системы (ИС) являются одним из основных элементов инфраструктуры организаций, обеспечивающих необходимую производительность и качество предоставляемых услуг. Одной из первостепенных задач правильного функционирования ИТ-инфраструктуры организации является задача управления ИС. Крупные организации заинтересованы в построении четкой структуры ИС и глобальных решениях для управления, приспособленных адаптироваться к постоянно изменяющимся и порой неожиданным требованиям и производственным нуждам.

Управление ИС должно охватывать все критически важные части ИС и, как следствие, иметь сильное воздействие на ИС, но при этом быть прозрачным и помогать решению целевых задач ИС. Управление является важным компонентом ИС, поскольку:

не существует ИС, которые не управляются (простота механизма управления конкретной ИС не означает отсутствие управления ей как такового);

далеко не каждая ИС может быть сделана управляемой, а поэтому развертывание и рост ИС должны осуществляться с учетом практических требований к возможности ее управляемости;

без управления ИС становится разрозненной и непрогнозируемой, и быстро приходит в неуправляемое и нефункциональное состояние.

ИС можно рассматривать как систему коллективного пользования (СКП), обладающую свойствами коммуникабельности, параметричности и интеллектуальности [1]. Несмотря на то, что ИС достаточно разнообразны по своему функциональному назначению и решаемым задачам, абстрагируясь до некоторого уровня, в них

можно выделить схожую структуру, и набор взаимодействующих друг с другом компонентов. Однако недостаточно рассматривать ИС как автономную среду, состоящую из множества взаимодействующих компонентов, поскольку главной задачей ИС является предоставление некоторых информационных сервисов, являющихся результатом этого взаимодействия. Таким образом, появляется проблема управления взаимодействием компонентов ИС с целью гарантированного представления сервисов. Сложность этой проблемы состоит в том, что предоставление некоторого сервиса может быть результатом взаимодействия нескольких объектов (свойство коммуникабельности), причем технологии управления этими объектами могут быть различными, либо не существовать вовсе. Идеальная информационная система должна состоять только из управляемых объектов, с четко определенными в рамках единой формальной модели решаемыми задачами и управляющей информацией. Но на практике построить такую систему невозможно в силу многообразия существующих стандартов и технологий.

Выделим наиболее общие проблемы управления ИС [2]:

- описание структуры ИС, как совокупности предоставляемых сервисов в результате взаимодействия ее компонентов;

- определение информации, достаточной для управления ИС, и создание технологий и средств ее описания;

- интегрированный подход к обработке управляющей информации (алгоритмы, программные средства);

- централизация управления с возможной децентрализацией функций управления.

В общем, задача управления ИС может быть сформулирована как задача обеспечения функциональности предоставляемых сервисов посредством согласованного управления множеством компонентов ИС, принадлежащих разным уровням иерархии и функциональным задачам, и адаптированная к постоянным изменениям.

Распределенные системы

Архитектура современных ИС является структурно многоуровневой, причем разные уровни относительно независимы, что предполагает многоуровневый подход к задаче управления. В то же время уровни ИС тесно связаны, т. к. взаимодействия между объектами различных уровней реализуют набор сервисов, или функций, ИС.

Кроме многоуровневого строения современным ИС присуще географическое распределение. Это означает, что данные, требующие обработки,

могут появляться в одних местах ИС, обрабатываться в других, а использоваться в третьих. Отличительной особенностью распределенной системы является высокая степень модульности и децентрализации. Это означает, что в процесс обработки прикладных данных могут оказаться включенными элементы всех уровней, причем разнесенные по разным частям системы.

Методология создания распределенной ИС предполагает интеграцию в соответствии с единой технологической концепцией таких понятий, как:

- принципы структуризации системы [1];

- методы мультиобработки информации [3];

- определения данных [4, 5] и знаний;

- методы моделирования управления [6] и др.

Распределенное управление является сложной задачей, поскольку управляемые объекты очень разнородны и могут быть распределены географически. Ранние системы управления строились по одноуровневой архитектуре "менеджер-агент": элементы сети (агенты) посылают поток автономных сообщений (предупреждений) о своем состоянии в элемент управления (менеджер) и выполняют управляющие действия; менеджер выдает агентам команды на управляющие воздействия и получает предупреждения. Обмен информации производится при помощи протоколов управления (SMNP [7], SNMP [8]). Такой подход имеет ряд недостатков:

- программное обеспечение менеджера/агента может функционировать только на одном управляющем/управляемом устройстве и не может состоять из распределенных элементов;

- информационная модель управляемого объекта ориентирована на поддержку конкретного протокола управления и не может поддерживать взаимодействие в другой среде;

- недостаточно развиты инструментальные средства проектирования систем управления.

ИС современных организаций представляют собой распределенную среду критически важных данных, приложений и процессов различных типов.

В рекомендациях ITU X.701 [9] вводится многоуровневая архитектура "менеджер-агент". Иерархия взаимодействующих менеджеров и агентов может иметь несколько уровней. При этом элементы промежуточных уровней играют двойную роль: по отношению к вышестоящим элементам они являются агентами, а к нижестоящим – менеджерами. Этот подход является ключевым к распределенному, масштабируемому управлению большими системами. Управляемость информационной системы напрямую зависит от детальности представления состояния компонентов на иерархических уровнях и описания взаимодействия между уровнями.

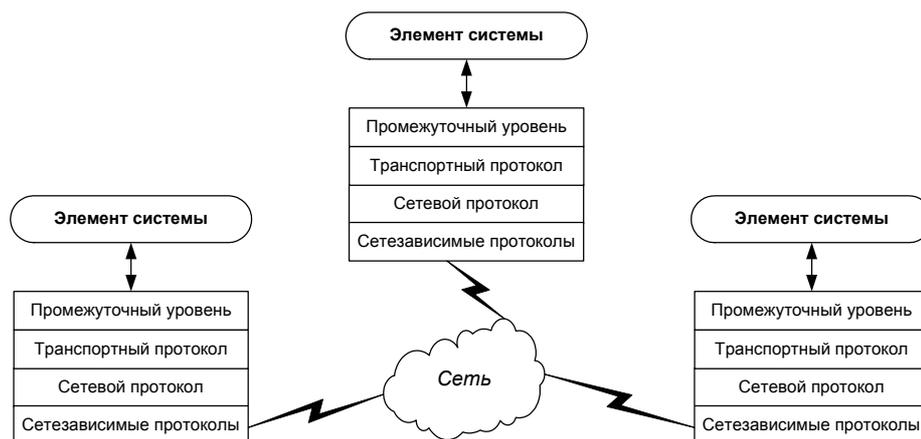


Рис. 1. Модель распределенной системы

Модель управляющей информации описывается рекомендациями ITU-T X.720 [10] и является объектно-ориентированной. Опубликованные рекомендации ITU-T X.900, содержат определения эталонной модели для открытой распределенной обработки данных (Open Distributed Processing – ODP). Эта модель согласована с общей архитектурой брокера объектных запросов (Common Object Request Broker Architecture – CORBA) [11] и предназначена для организации взаимодействий между распределенными процессами в гетерогенных средах. Архитектура управления ODP-системами приведена в рекомендациях ITU-T X.903.

Компоненты распределенных систем взаимодействуют посредством определенных интерфейсов через промежуточный уровень взаимодействия (рис. 1). Различают три категории промежуточного уровня:

- транзакционно ориентированная;
- ориентированная на обмен сообщениями;
- объектно-ориентированная.

Наиболее значимыми технологиями вычислений, которые базируются на распределенных системах, являются объектно-ориентированные технологии:

- общая архитектура брокера объектных запросов (CORBA) [12, 13];
- технология удаленного вызова методов (Java Remote Method Invocation – Java RMI) [13];
- объектная модель компонентов (Distributed Common Object Model – DCOM) [13].

Общая информационная модель

Даже в случае относительно небольшой ИС в результате взаимодействия ее компонентов образуется громадный объем информации, которая в неструктурированном виде не пригодна для использования в целях управления и принятия решений. Построение ИС предполагает создание технологии структуризации системы

в целом и ее компонентов, а также концепции хранения и обработки данных [1].

Одной из попыток стандартизации в управлении сложными ИС является создание общей информационной модели (Common Information Model – CIM) [5]. Целью CIM является описание управляющей информации при помощи объектно-ориентированного подхода, что позволяет отображать другие схемы управления (в том числе, например, MIB SNMP и CMIP [14]) на свои структуры данных. CIM можно рассматривать как некий словарь данных для управления ИС, предоставляющий описание атрибутов и действий объектов, и документирующий, как эти свойства соотносятся друг с другом.

CIM состоит из спецификации и схемы. Спецификация CIM содержит соглашения об именовании, методы отображения и метасхему, устанавливающую правила определения схем.

Схема CIM имеет три уровня:

- базовая схема (Core Schema);
- общие схемы (Common Schema);
- расширяющие схемы (Extension Schema).

Базовая схема содержит наиболее общие элементы всех видов управляемых объектов. Общие схемы наследуют все элементы базовой схемы. Общих схем всего пять: приложения (application), системы (system), устройства (device), базы данных (database) и сеть (network). Вместе базовую и общие схемы называют CIM-схемой. Расширяющие схемы наследуют элементы базовой и общих схем, и являются специфическими для конкретной платформы. Базовая схема вряд ли в дальнейшем будет подвергаться каким-либо изменениям, тогда как общие схемы вполне могут редактироваться для внесения в них усовершенствований. Иерархическая и наследуемая структура гарантирует упорядоченность расширений и обеспечивает обратную совместимость с более ранними реализациями CIM.

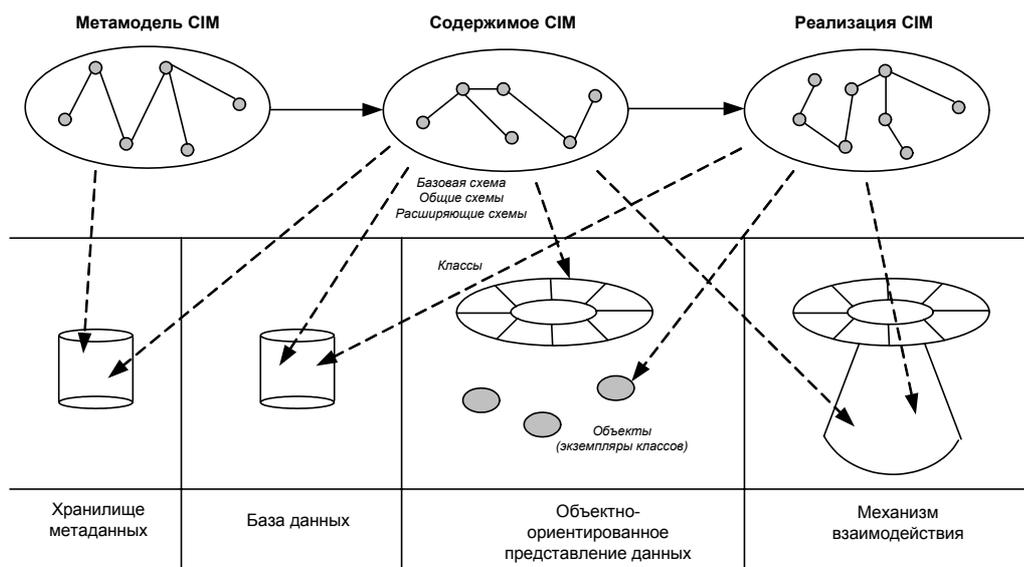


Рис. 2. Реализация CIM

CIM – модель данных, и она не привязана к какому-либо конкретному языку программирования, протоколу или производителю. Схемы CIM могут быть представлены в виде текстовых файлов, структурированных в соответствии с форматом управляемых объектов (Managed Object Format – MOF), или любой другой графической программы, способной отобразить файлы MOF.

Спецификация CIM не определяет как данные в действительности конкретизируются в управляющем объекте и как они должны передаваться между управляющими и управляемыми объектами (рис. 2). Поэтому при разработке системы управления, основанной на CIM необходимо:

1. Определить способ хранения управляющих данных.
2. Определить способ представления управляющих данных в приложении;
3. Определить механизм передачи управляющих данных.

Заключение

Существующие на сегодняшний момент технологии построения систем управления не дают возможности построить интегрированную систему управления целиком на базе какого-либо одного стандарта, охватывающую все уровни иерархии ИС. Сегодня при построении системы управления большое внимание уделяется использованию объектно-ориентированного подхода для распределенных систем. Такой подход позволяет строить систему управления ИС не только как самостоятельную среду, но и интегрировать ее с системой управления предприятием в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Халилов А. И. Структурно-базовая технология создания систем коллективного пользования. Ставрополь: СевКавГТУ, 2001, 181 с.
2. Столяров М., Трифаленков И. На пути к управляемым ИС. – Jet Info. Информационный бюллетень, 1999, № 3.
3. Халилов А. И. Метод последовательного углубления и некоторые его применения // Теория и практика системного программирования: Сб. науч. тр. ИК АН УССР. – Киев. – 1976. – С. 180–191.
4. Халилов А. И. О некоторых направлениях развития концепций баз данных // Параллельное программирование и высокопроизводительные системы. – Новосибирск. – ВЦ СО АН СССР. – 1980. – Ч. 2. – С. 22–30.
5. Common Information Model (CIM). Infrastructure Specification. Version 2.3 Final. – Desktop Management Task Force, October 2005.
6. Халилов А. И., Лосевичев В. И., Шутков И. М. О моделировании управляющей компоненты в одной системе коллективного пользования // Модели и системы обработки информации: Сб. науч. тр. – Киев. – 1988. – № 7. – С. 97–104.
7. Harrington D., Presuhn R., Wijnen B. Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks. RFC 3411. – <http://www.ietf.org/rfc/rfc3411.txt>.
8. ITU-T Recommendation X.711. Information Technology. Open Systems Interconnection. Common Management Information Protocol. – October, 1997.
9. ITU-T Recommendation X.701. Information Technology. Open Systems Interconnection. Systems Management Overview. – 1992.
10. ITU-T Recommendation X.720. Information Technology. Open Systems Interconnection. Structure of Management Information. – 1992.
11. ITU-T Recommendation M.3120. CORBA generic network and network element level information model. Recommendation M.3010. – October, 2000.
12. CORBA. The Common Object Request Broker: Architecture and Specification. Version 3. – OMG, July 2002.
13. Пол Дж. Перроун, Венката С. Р., "Кришна" А. Чаганти. Создание корпоративных систем на основе Java 2 Enterprise Edition. Руководство разработчика: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 1184 с.: ил.
14. Rose M., McCloghrie K. Concise MIB Definitions. RFC 1212. – <http://www.ietf.org/rfc/rfc1212.txt>.

УДК 656.11.021

*Е. А. Ефимова***КОНТРОЛЬ И АНАЛИЗ ПРЕДЗАТОРОВЫХ СИТУАЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

Астраханский государственный университет (cad@vstu.ru)

В статье приводится описание системы контроля за движением транспорта по магистрали и предупреждения возникновения заторов. Заторы снижают общую пропускную способность магистрали и поэтому требуют оперативного разрешения ситуаций. Анализ заторов основывается на наблюдении за скоростью потока. При обнаружении затора формируется сигнал для диспетчера.

Ключевые слова: заторы, трафик, контроль.

*Е. А. Ephimova***CONTROL AND ANALYZE TRAFFIC JAM SITUATIONS**

This paper present system for control highway transport movment and forecast of appearing traffic jams. Traffic jams decrice traffic capacity of highway so they are had to solve operatively. Analysis of jams is based on checking speed of traffic. When the jams is be discover the system will send control signal.

Jams, Traffic, control.

Автомобильная дорога, комплекс сооружений для безопасного и удобного движения автомобилей с расчетными скоростями и нагрузками. Начавшееся в конце XIX в. развитие автомобильного транспорта потребовало создания удобных путей для движения автомобилей; пока скорости их движения были невелики, ограничивались приспособлением гужевых дорог, проводя мероприятия по борьбе с пылью и предохранению дорожного покрытия от быстрого разрушения. С ростом интенсивности движения, повышением скоростей и нагрузок стали производить более капитальные переустройства гужевых дорог, расширяя проезжие части, устраняя крутые подъемы и спуски, увеличивая радиусы закругления, применяя беспыльные и прочные дорожные покрытия и т. п. После 1-й мировой войны во всех странах стали строить только автомобильная дорога, специально рассчитанные и спроектированные для движения автомобилей (носящие название во Франции *autoroute*, в Англии *motorway*, в Италии *autostrada*, в США *highway* и т. п.) [1].

Повсеместное строительство автомобильных дорог в России было вызвано быстрым ростом автомобильного парка. Если в 1913 длина находившихся в эксплуатации дорог общего пользования составляла не более 25 тыс. км, то сеть федеральных автомобильных дорог в 2006 насчитывает свыше 620 тыс. км.

В зависимости от назначения в общей транспортной сети и от расчетной интенсивности движения автомобильные дороги разделяют на 5 технических категорий. Чем выше расчетная интенсивность движения, тем выше категория дороги и ее технические характеристики, в первую очередь расчетная скорость

движения (для 1-й категории 150 км/ч, для 5-й категории 60 км/ч). Расчетная скорость – наибольшая по условиям безопасности движения скорость одиночного легкового автомобиля [3].

Бурный рост автомобильного транспорта вызвал увеличение интенсивности движения по автомобильным дорогам как грузовых, так и легковых автомобилей.

Одной из важнейших транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильной дороги является ее пропускная способность (ПС), т. е. максимальное число автомобилей, которое без заторов может пройти через данный участок автомобильной дороги в течение определенного промежутка времени (например, за час). Величина ПС в основном зависит от ширины и количества полос движения, радиусов закруглений и продольных уклонов, состава транспортного потока, скорости движения, погоды. Максимальная ПС двухполосной автомобильной дороги шириной 7–7,5 м при благоприятных дорожных условиях (сухое покрытие, открытый незастроенный прямолинейный и горизонтальный участок без пересечений в одном уровне и т. д.) составляет около 2 тыс. легковых автомобилей в час или, примерно, 20 тыс. легковых автомобилей в сутки. Наличие грузового движения резко снижает ПС и при 70–80 % грузовых автомобилей в транспортном потоке ПС двухполосной автомобильной дороги шириной 7–7,5 м составляет 8–9 тыс. автомобилей в сутки. Если фактическая интенсивность движения на автомобильной дороге превышает величину ПС, образуются заторы и транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги резко снижаются.

Техническая классификация автомобильных дорог

| Показатели | Техническая категория автомобильных дорог | | | | |
|--|---|-----------|-----------|----------|-----------|
| | 1-я | 2-я | 3-я | 4-я | 5-я |
| Перспективная среднесуточная интенсивность движения автомобилей в обоих направлениях | Более 6000 | 6000–3000 | 3000–1000 | 1000–200 | Менее 200 |
| Расчетная скорость движения, км/ч | 150 | 120 | 100 | 80 | 60 |
| Ширина проезжей части, м | 2*7,5 и более | 7,5 | 7 | 6 | 4,5 |
| Ширина полосы движения, м | 3,75 | 3,75 | 3,5 | 3,0 | 4,5 |
| Наибольшие продольные уклоны | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |

Городские дорожные сети перестают справляться с постоянно растущими транспортными потоками, с пропускной способностью улично-дорожной сети, что приводит в крупных и особенно крупнейших городах к "транспортному параличу" городского движения, главным образом в центральных районах городов в часы "пик". Эффективным способом повышения пропускной способности городских дорог является внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) на базе современных информационных технологий [2].

Основным в интеллектуальной транспортной системе является сбор и анализ данных с целью оптимизации взаиморасположения объектов дорожной инфраструктуры, обеспечивающей ее максимальную пропускную способность, как по отдельным участкам, так и по всей автомагистрали в целом. Разработка на их основе плана мероприятий, имеющих кратко и средне срочный характер действий, для реконструкции взаиморасположения объектов дорожной инфраструктуры в пределах существующей геометрии автомагистрали, и прогнозирование предельного времени работы автомагистрали без предзаторовых ситуаций в пределах существующей геометрии дорожно-транспортной сети в условиях роста городского автопарка.

При этом для достижения максимальной точности получаемого результата, предлагается разработанная специальная система – позволяет фиксировать виды и количество проезжающего в оба направления транспорта. А устройство анализа предзаторовых ситуаций, содержащее схемы сравнения скорости транспортных потоков, количество которых соответствует числу полос движения – обобщает и анализирует полученные данные. Таким образом, появляется возможность получать точные объективные показатели загруженности той или иной магистрали, графики суточных и сезонных пиков и спа-

дов движения транспорта. Эта информация не просто вооружит специалистов конкретными цифрами и фактами, но и поможет при разработке и реализации стратегии развития дорожно-транспортной сети города для решения задач среднесрочного и долгосрочного прогноза с учетом УДС (улично-дорожной сети), городской застройки и организации дорожного движения и предотвращения автомобильных заторов на дорогах.

Система для контроля и анализа предзаторовых ситуаций транспортных потоков рис. 1, содержащая детектор транспорта в виде радиолокационного устройства, выполненного в виде отдельных радиолокационных сенсоров, излучающих немодулированные сигналы и закрепленных над каждой из полос движения с наклоном диаграммы направленности относительно вертикальной оси, а блок регистрации и управления содержит фильтры нижних частот, соединенные с соответствующих компараторов, которые соединены с устройством вычисления скорости и длительности аномальных сигналов, количество которых соответствует числу полос движения.

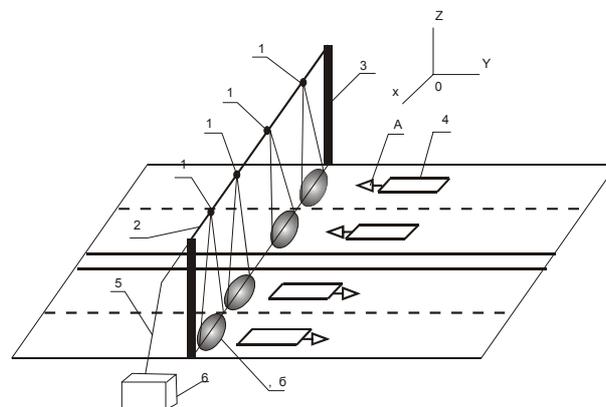


Рис. 1:

1 – радиолокационные сенсоры; 2 – трос; 3 – опора; 4 – транспортное средство (ТС); 5 – кабель; 6 – блок регистрации и управления (БРУ); (А) – полос движения; (Б) – ширины диаграммы направленности

Компараторы подсоединены к перемножителям, которые определяют длину транспортного средства. Происходит определение мощности аномального сигнала, и подача его на устройство оперативной памяти (УОП). Срабатывают счетчики числа, проходящих по каждой полосе транспортных средств, сигнал подается на УОП. Устройство вычисления скорости для контролируемых полос фиксирует скорость транспортных средств, а классификатор, содержащий схемы сравнения скорости транспортных потоков, количество которых соответствует числу полос движения, производит сравнение, которое установлено в виде цифрового индикатора, в блоке регистрации и управления анализа предзаторовых ситуаций.

Если по какой-то из полос скорость движения V меньше или равна предзаторовой скорости $V_{пз}$, то запускается соответствующий программируемый таймер, который начинает отсчет запрограммированного времени ожидания t_0 . Время ожидания t_0 – это время в течение которого, скорость движения V приобретает стабильный характер. Иначе, любое случайное снижение скорости или торможение ТС, приводило бы к выдаче ложного предупреждающего сигнала о возможном автомобильном заторе.

Если по истечении времени t_0 скорость движения V не возросла и осталась меньше или равной предзаторовой скорости $V_{пз}$, то выдается предупреждающий сигнал о возможном автомобильном заторе на этой полосе движения. В противном случае останавли-

вается и обнуляет соответствующий программируемый таймер.

Предупреждающий сигнал о возможном автомобильном заторе поступает на цифровой индикатор и через цифровой интерфейс передается в канал связи. Такая информация необходима для оперативного регулирования транспортных потоков.

Данная система поможет произвести контроль и анализ предзаторовых ситуаций на каждой из полос движения и выдачи предупреждающих сигналов о возможном развитии автомобильных заторов. Такая информация необходима: для разработки на основе анализа плана мероприятий, имеющих кратко и среднесрочный характер действий, для реконструкции взаиморасположения объектов дорожной инфраструктуры и прогнозирование предельного времени работы автомагистрали без предзаторовых ситуаций дорожно-транспортной сети в условиях роста городского автопарка, а также для оперативного регулирования транспортных потоков, например, для зажигания знаков объезда, переключения светофоров, и других мер способствующих предотвращению автомобильных заторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Под ред. Иванова Н. Н. Строительство автомобильных дорог. – Т. 1–2. – М., 1963–64;
2. Кременец Ю. А., Печерский М. П., Афанасьев М. Б. Технические средства организации дорожного движения. М.: ИКЦ "Академкнига", 2005. – С. 145.
3. Некрасов В. К. Автомобильные дороги, М., 1964.

УДК 378.147

А. В. Крохалев, Д. Е. Декатов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ ОСТАТОЧНЫХ ЗНАНИЙ ПО КУРСУ "ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ"

Волгоградский государственный технический университет (tfpic@vstu.ru)

Рассматривается технология анализа результатов тестирования студентов по техническим дисциплинам.
Ключевые слова: факторный анализ, остаточные знания, латентные факторы.

A. Krohalev, D. Dekatov

USE OF THE FACTORIAL ANALYSIS FOR STUDYING STRUCTURE OF RESIDUAL KNOWLEDGE AT THE RATE «TECHNOLOGY OF MATERIALS»

The technique of the analysis of results of testing of students on technical disciplines is considered.
 The factorial analysis, residual knowledge, latent factors.

При изучении структуры остаточных знаний приходится констатировать, что не существует возможности непосредственного количественного оценивания факторов, определяющих данное понятие. Более того, само их число и содержательный смысл часто остаются не вполне понят-

ными и заменяются априорно принимаемыми характеристиками, рассчитываемыми на основе результатов тестирования по ограниченному кругу вопросов, касающихся изучаемого курса.

Основой для изучения структуры остаточных знаний по курсу "Технология материалов"

послужили статистические данные, полученные при проведении контрольных мероприятий по данной дисциплине в трех группах студентов общей численностью 52 человека. Контроль проводился с использованием АКОС "Технология материалов" по пяти разделам курса: "Свойства металлов и сплавов", "Металлургия", "Литейное производство", "Обработка металлов давлением", "Сварка". В качестве критериев усвоения студентами материала перечисленных разделов (переменных) использовалось количество правильных ответов, сделанных тестируемыми без использования встроенной в программу справочно-обучающей системы, на 10 вопросов, выбираемых в случайном порядке из базы, содержащей от 50 до 100 вопросов, охватывающих все основные темы соответствующих разделов. Обработка результатов производилась с применением стандартных процедур математической статистики, реализованных в системе STATGRAPHICS Plus for Windows. За основу обработки был принят факторный анализ, позволяющий обнаруживать латентные факторы, определяющие значения некоторого набора измеряемых признаков.

Основная модель факторного анализа записывается, исходя из предположения, что значения каждой переменной x_i могут быть выражены взвешенной суммой простых факторов f_j , количество которых m меньше числа исходных переменных и остаточным членом ε_i с дисперсией $\sigma^2(\varepsilon_i)$, действующей только на x_i .

$$x_i = \sum_{j=1}^m l_{ij} f_j + \varepsilon_i$$

Коэффициенты l_{ij} при этом называются нагрузками i -й переменной на j -й фактор или нагрузками j -го фактора на i -ю переменную. Первым этапом факторного анализа является выбор факторов, которые "вбирают" в себя большую часть общей изменчивости наблюдаемых данных. Для этого используется метод главных компонент. Поскольку обычно факторы, полученные данным методом, не поддаются достаточно наглядной интерпретации, то следующим шагом факторного анализа служит преобразование (вращение) факторов с целью упрощения факторной матрицы в соответствии с каким-либо априорным представлением исследователя о значениях латентных факторов в каждом из проведенных опытов. Наиболее часто при

этом применяется вращение методом варимакс, которое ставит своей целью свести все значения в столбцах факторной матрицы к 1 или 0.

В табл. 1 приведен вклад факторов в изменчивость рассматриваемых переменных до процедуры вращения факторов. Как следует из таблицы, влияние первых трех латентных факторов определяет более 90 % изменчивости результатов тестирования. Ограничившись ими и проведя процедуру вращения факторов по методу варимакс, получим значения факторных нагрузок на исследуемые переменные (табл. 2).

Анализ приведенных в ней данных позволяет утверждать, что первый латентный фактор в наибольшей степени связан с результатами тестирования по разделу "Металлургия" (переменная 2), второй – "Литейное производство" (переменная 3) и третий – "Свойства металлов и сплавов" (переменная 1).

Таблица 1

Вклад латентных факторов в изменчивость результатов контроля по разделам курса

| Номер фактора | Вклад в дисперсию, % | Суммарный вклад, % |
|---------------|----------------------|--------------------|
| 1 | 64,791 | 64,791 |
| 2 | 15,334 | 80,125 |
| 3 | 12,857 | 92,982 |
| 4 | 4,187 | 97,169 |
| 5 | 2,831 | 100,000 |

Таблица 2

Коэффициенты нагрузок факторов на переменные после проведения вращения

| | Фактор 1 | Фактор 2 | Фактор 3 |
|--------------|----------|----------|----------|
| Переменная 1 | 0,235816 | 0,203641 | 1,27446 |
| Переменная 2 | 1,38343 | 0,122361 | 0,127666 |
| Переменная 3 | 0,255795 | 1,44856 | 0,193434 |
| Переменная 4 | 0,934462 | 0,689032 | 0,545329 |
| Переменная 5 | 0,986134 | 0,781801 | 0,448897 |

Результаты анализа вполне согласуются с общими представлениями о логической структуре курса "Технология материалов" и могут быть положены в основу определения количества и тематической направленности вопросов экзаменационных билетов по дисциплине.

УДК 004.021

Е. Г. Крушель, В. Г. Семенов, И. В. Степанченко, В. В. Сургутанов
НЕЛИНЕЙНЫЕ АЛГОРИТМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА

Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградский государственный технический университет (stilvi@mail.ru)

Излагаются результаты исследования влияния введения нелинейных элементов в цифровые законы управления динамическими процессами с запаздыванием на примере двухконтурного регулирования микроклимата в теплице. Приводятся результаты методики настройки параметров алгоритма, состоящей в использовании двух поисковых алгоритмов (алгоритм Хука-Дживса и генетический алгоритм).

Регулирование, нелинейные алгоритмы, поисковые алгоритмы, теплица, микроклимат, двухконтурное управление системой, температура, влажность.

E. G. Krushel, V.G. Semenov, I. V. Stepanchenko, V. V. Surgutanov
NONLINEAR ALGORITHM OF THE MICROCLIMATE CONTROL

Research results of insertion influence of nonlinear elements in digital laws of control by dynamic processes with delay on an example of two-contour control system of a microclimate in a greenhouse are presented. The few results of numerical experiments are included to illustrate the technique of parameters adjustment of the algorithm. The technique consists of integration two search algorithms (algorithm Hook-Jeevs and genetic algorithm).

Regulation, nonlinear algorithms, search algorithms, greenhouse, microclimate, two-contour control system, temperature, humidity.

Излагаются результаты исследования влияния введения нелинейных элементов в цифровые законы управления динамическими процессами с запаздыванием на примере двухконтурного регулирования микроклимата в теплице.

Актуальность разработки. Повсеместный переход к цифровым управляющим системам, замена регуляторов с аналоговым принципом действия на микропроцессорные ставит перед специалистами две задачи.

Первая задача состоит в замене непрерывного закона управления его цифровой реализацией. Эффекты, возникающие в цифровых системах, проявляются в квантованности управляющих воздействий по уровню сигнала и в дискретности управления по времени. Квантованность управлений и измерений выхода объекта и/или возмущений из-за наличия аналогово-цифровых преобразователей приводит к тому, что рассматриваемая система (которая, возможно, была бы линейной при наличии аналоговых измерителей и регуляторов) становится нелинейной. Представляет интерес изучение нелинейных искажений линейных законов управления при их цифровой реализации [2].

Вторая задача состоит в стремлении усовершенствовать существующие, ставшие классическими законы управления благодаря новым возможностям, предоставляемым цифровой техникой [2].

Можно указать два полярных подхода к вопросам выбора алгоритмического обеспечения общепромышленных регуляторов. Первый, имеющий наибольшее распространение, состоит в массовом применении регуляторов с ли-

нейными законами (с пропорционально-интегральным законом и с его клонами). Второй, пропагандируемый специалистами по теории управления, состоит в построении индивидуального алгоритмического обеспечения для конкретного объекта на базе теории оптимального управления (в частности, теории систем, оптимальных по быстродействию, или теории аналитического конструирования оптимальных регуляторов – АКОР).

Сторонниками первого подхода являются инженеры-практики, аргументирующие отказ от использования оптимальных законов управления сложностью их реализации и (главное) чувствительностью оптимальных систем к виду и параметрам моделей управления. Например, АКОР-алгоритм подвергается критике практиков из-за огромного числа настраиваемых параметров (коэффициентов штрафа за отклонение вектора переменных состояния от задания в течение всего процесса управления, коэффициентов штрафа за использование управляющих воздействий, отличных от номинальных). Матричные уравнения, входящие в АКОР, сложны для реализации на микропроцессорах со скромными вычислительными возможностями. Параметры модели объекта должны быть известны, все переменные состояния должны измеряться, все возмущающие воздействия должны быть детерминированными. Такие условия применения теории на практике встречаются очень редко. Этому противопоставляют регуляторы с простыми, но робастными законами управления, наиболее популярным из которых является пропорционально-интегральный (ПИ) закон.

Сторонниками второго подхода являются, в основном, научные работники. Их аргументы сводятся к критике ограниченности области применения простейших регуляторов, сводящейся к классу моделей объекта в форме "скалярный вход – скалярный выход". Для сложных многомерных объектов с векторными управляющими воздействиями и вектором выходных переменных попытки использовать несколько ПИ-регуляторов отдельно для нескольких контуров часто приводят к неустойчивости из-за взаимодействия контуров. Кроме того, даже для моделей "вход-выход" линейные законы управления не позволяют достичь высокого качества управления при наличии больших запаздываний в канале передачи управляющего воздействия на вход объекта.

К срединной позиции между этими подходами относятся работы, в которых (как и в работах по классическим законам) алгоритм управления не синтезирован на основе какого-либо оптимизационного принципа, а изобретен. Уровень сложности алгоритма не намного выше, чем у линейных законов. Базой для таких изобретений является анализ недостатков линейных законов, на основе которого ищется путь их устранения за счет введения нелинейных добавок. Ранее такие работы (так же, как работы по оптимальному управлению) не были широко распространены на практике, т. к. общепромышленные регуляторы не обладали свойствами перепрограммирования алгоритмов. При массовом переходе к микропроцессорным средствам управления этот недостаток устранен, и теперь вопросы целесообразности коррекции свойств линейных законов стали актуальными.

Актуальность работы состоит в сопоставлении показателей качества управления системы с нелинейным законом управления с качеством, достижимым при использовании ПИ-закона. Для исключения неоднозначности в обоих случаях параметры настройки алгоритмов выбирались так, чтобы обеспечить наилучшее значение показателя качества.

Методика настройки параметров алгоритма состоит в использовании двух поисковых алгоритмов (оптимизационный алгоритм Хука-Дживса [1] и генетический алгоритм).

Оптимизационный алгоритм Хука-Дживса представляет собой классический поисковый алгоритм, который *дополнен* динамическим звеном (моделирование работы системы управления при данных значениях настроечных параметров и оценка критерия качества управления).

При использовании *генетического алгоритма* для подбора параметров ПИ-регулятора

использовались функции генетического алгоритма такие как скрещивание, мутация и селекция. Критерием для генетического алгоритма являлся сумма среднее квадратического отклонения выхода объекта от задания.

При моделировании автоматизированного комплекса применена двухконтурная структура управления (рис. 1), контуры которой относятся к температуре и влажности соответственно.

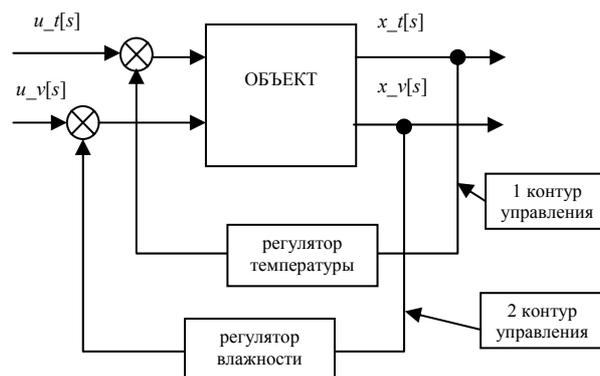


Рис. 1. Структура двухконтурного управления

В каждом из контуров используется цифровой регулятор, алгоритмическое обеспечение которого реализует нелинейный пропорционально-интегральный закон управления.

Введение нелинейности. В непрерывном времени нелинейный динамический закон управления описывается формулой:

$$u(t) = (k_p + k_{nl_1})\varepsilon(t) + (k_i + k_{nl_2})\int \varepsilon(t)dt, \quad (1)$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие,

$\varepsilon(t)$ – рассогласование между заданием и выходом объекта,

k_p – коэффициент усиления пропорциональной части,

k_i – коэффициент при интегральной части,

$k_{nl_1,2}$ – коэффициенты при нелинейной части.

Нелинейный динамический закон получен из линейного ПИ-закона управления путем введения зависимости эффективных коэффициентов усиления от рассогласования между задающим воздействием и выходом объекта на предыдущем такте и на текущем такте.

Проиллюстрируем на примере корректирующей добавки к цифровому ПИ-закону управления. В цикле по тактам дискретного времени $s = 0, 1, \dots, N-1$ дискретой отсчета Δt .

Цифровая форма нелинейного динамического алгоритма управления для 1 контура управления (по температуре) имеет вид:

$$u_t[s+1] = u_t[s] + (k_{t_p} + k_{t_i} * \Delta t_x + k_{t_{nl1}} * |\varepsilon_t[s+1]|) * \varepsilon_t[s+1] - (k_{t_p} + k_{t_{nl2}} * |\varepsilon_t[s]|) * \varepsilon_t[s] + \Delta u_t[s], \quad (2)$$

Цифровая форма нелинейного динамического алгоритма управления для 2 контура управления (по влажности) имеет вид:

$$u_v[s+1] = u_v[s] + (k_{v_p} + k_{v_i} * \Delta t_x + k_{v_{nl1}} * |\varepsilon_v[s+1]|) * \varepsilon_v[s+1] - (k_{v_p} + k_{v_{nl2}} * |\varepsilon_v[s]|) * \varepsilon_v[s] + \Delta u_v[s], \quad (3)$$

где $u_t[s]$, $u_v[s]$ – управляющее воздействие для 1 и 2 контура соответственно;

$\varepsilon_t(s) = xz_t[s] - x_t[s]$ – рассогласование между заданием и выходом объекта по 1 контуру (по температуре);

$\varepsilon_v(s) = xz_v[s] - x_v[s]$ – рассогласование между заданием и выходом объекта по 2 контуру (по влажности);

k_{t_p} , k_{v_p} – коэффициенты усиления при пропорциональной части;

k_{t_i} , k_{v_i} – коэффициенты при интегральной части;

$k_{t_{nl1}}$, $k_{t_{nl2}}$, $k_{v_{nl1}}$, $k_{v_{nl2}}$ – коэффициенты при нелинейной части;

$xz_t[s]$, $xz_v[s]$ – задающее воздействие;

$x_t[s]$, $x_v[s]$ – выход объекта.

$$u_{pq}[s+1] = \text{Целая часть} \left(\frac{u_p[s+1]}{\Delta u_q} \right) \cdot \Delta u_q, \quad (4)$$

$$u[s+1] = \begin{cases} u_{\max}, & \text{если } u_{pq}[s+1] \geq u_{\max}; \\ u_{\min}, & \text{если } u_{pq}[s+1] \leq u_{\min}; \\ u_{pq}[s+1] & \text{в остальных случаях} \end{cases}, \quad (5)$$

$$\Delta u[s+1] = u_{pq}[s+1] - u[s+1], \quad (6)$$

Здесь $\{u_{\min}, u_{\max}\}$ – границы изменения управляющего воздействия, Δu_q – шаг квантования управляющего воздействия по уровню сигнала. В дополнение к этим параметрам обычного цифрового ПИ-закона вводится нелинейный коэффициент, роль которого состоит в форсировании управляющих воздействий при больших отклонениях от задания и в смягчении управляющих воздействий по мере уменьшения этого отклонения.

Эффекты нелинейности показаны на рис. 2–4. На рис. 2 показана динамика выхода объекта (температуры) при обработке ступенчатого изменения задающего воздействия. Критерий настройки – время переходного процесса, возмущения отсутствуют. За счет введения нелинейности (форсирования начальной части процесса) время сокращено более чем в 2 раза

по сравнению с системой, использующей оптимально настроенный ПИД-регулятор.

На рис. 3 показана динамика обработки меандрового задающего воздействия (в форме прямоугольных периодических изменений). Критерий настройки – среднее (по времени) значение абсолютной величины отклонения выхода объекта от задания. За счет введения нелинейности значение критерия сократилось более чем в 3 раза по сравнению с системой, использующей оптимально настроенный ПИ-регулятор. Одновременно удалось устранить перерегулирование в начальной части процесса.

Рис. 4 иллюстрирует эффективность введения управляющей системы по сравнению с разомкнутой системой (в которой из-за инерционности объекта цель управления, состоящая в отслеживании задания, не достигается).

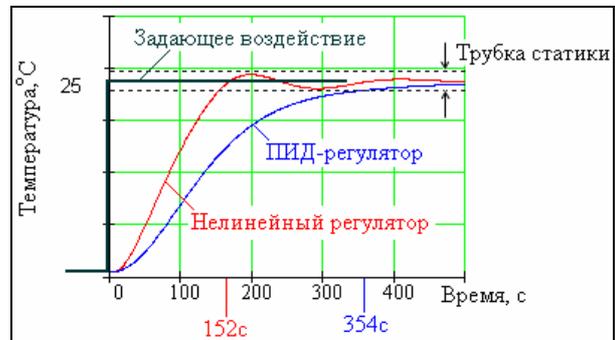


Рис. 2. Настройка на минимум времени переходного процесса

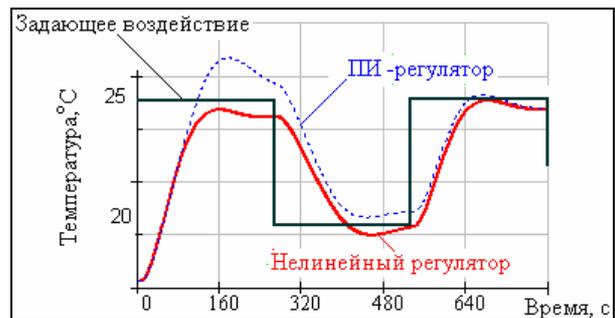


Рис. 3. Настройка на минимум среднего значения абсолютного отклонения от задающего воздействия

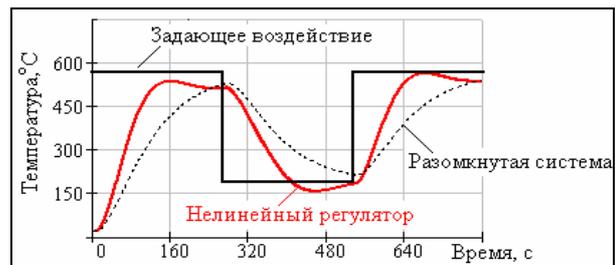


Рис. 4. Сравнение нелинейной и разомкнутой систем

Основные результаты, полученные в работе:

1) проведен анализ недостатков классических алгоритмов управления (классический ПИ-регулятор) и введения нелинейности в законы управления;

2) проведена серия вычислительных экспериментов по исследованию нелинейных законов управления, показавшая, что можно обеспечить более высокое быстродействие системы при меньшем перерегулировании, чем это достижимо в линейных системах;

3) выработаны рекомендации по выбору критерия для оптимизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бесекецкий В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 2002. – 752 с.

2. Семенов В. Г. Нелинейные законы управления в регулировании микроклимата. Математика. Компьютер. Образование. Сборник тезисов 13 международной конференции, 14, МОО "Женщины в науке и образовании", – М.-Ижевск, 2007. – С. 97.

УДК 004.891.3

С. В. Окладникова КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Астраханский государственный университет (chelle@aspu.ru)

Автором статьи рассмотрены основные этапы оценки качества тестов. Обоснована необходимость управления качеством тестовых материалов на этапе их разработки. Предложены критерии, позволяющие оценивать сложность формулировок тестовых вопросов и их тематическое соответствие содержанию предметной области дисциплины.

Ключевые слова: тестовый материал, сложность формулировки, критерий качества.

S. V. Okladnikova QUANTITATIVE ESTIMATION OF THE MAINTENANCE OF TEST TASKS FOR COMPUTER TESTING

The Author of clause considers the basic evaluation stages of quality of tests. Necessity of quality management of test materials at a stage of their development is proved. The criteria, allowing to estimate complexity of formulations of test questions and their thematic conformity to the maintenance of a subject domain of discipline are offered.

Test material, complexity language, performance criterion.

При проведении компьютерного тестирования первоочередным фактором выступает создание тестового материала (ТМ), включающего в себя тестовые задания и тесты, которые позволили бы объективно оценивать уровень знаний тестирующихся.

Проводить оценку ТМ возможно:

1) автоматизировано – непосредственно по содержанию ТМ на основе некоторых формальных показателей (критериев) до начала фактического использования тестовых заданий (ТЗ), т. е. на стадии разработки ТЗ;

2) методами "экспертного оценивания" компетентными специалистами (как до применения, так и по результатам тестирования);

3) экспериментально – статистически (по результатам предварительного тестирования учащихся).

Целесообразность использования автоматизированной оценки тестовых материалов обусловлена: необходимостью оценки большого количества ТМ для включения их в учебный процесс; поддержкой решений по переработке ТМ до начала их практического использования; субъективизмом оценки ТМ со стороны разра-

ботчиков; сложностью формирования экспертных групп и высокой стоимостью таких работ.

На основе формальных показателей можно проводить оценку: тестов и отдельных ТЗ.

Типичными в практике работы вузов являются "ТЗ закрытой формы", состоящие из сформулированного вопроса и предопределенного набора ответов. Содержание вопроса и ответов ТЗ представляет собой текст, в который могут быть включены графические объекты, формулы и т. п. По умолчанию ниже будет рассмотрен именно такой вариант ТЗ, однако эти подходы частично могут быть применимы и для других форм ТЗ (открытой, на соответствие, на установление последовательности).

В качестве критериев оценки качества ТМ в рамках анализа по формальным показателям можно выделить следующие:

сложность формулировок вопросов и ответов отдельных ТЗ;

соответствие отдельных ТЗ (тестов) теме дисциплины;

полнота тематического охвата тестов по дисциплине;

политематичность ТЗ и тестов.

Перечисленные критерии могут применяться как отдельно, так и в совокупности.

Сложность формулировок вопросов и ответов отдельных ТЗ

Рассмотрим частные критерии для формальной оценки "сложности" отдельных ТЗ.

(С₁) Суммарная длина формулировки вопроса и всех вариантов ответов ТЗ, выраженная как "количество символов", включая пробелы внутри фраз и некоторые знаки препинания (см. пункт С₂).

(С₂) Количество знаков препинания (запятая; двоеточие; точка с запятой; тире) и скобок в формулировках. Нецелесообразно учитывать: дефис внутри составных слов типа "какое-либо"; знаки переноса слов; символы, расположенные в конце фраз – точку, вопросительный и восклицательный знаки. К единым "элементам для подсчета" можно отнести: парные скобки (как правило, круглые); парные кавычки (они обычно свидетельствуют о применении термина в переносном смысле, что усложняет восприятие текста).

(С₃) Средняя длина предложений в ТЗ (суммарно – по формулировке вопроса и набору всех ответов) выраженная в количестве слов.

(С₄) Средняя длина слов во всех предложениях, составляющих ТЗ (более длинные слова усложняют восприятие). Для оценки целесообразно "не считать" все предлоги и союзы ("и", "или" и пр.). Показатель "С₄" может определяться: предметной областью, для которой предназначено ТЗ (и, как следствие, ее терминологической базой); стилем автора-разработчика ТМ; его словарным запасом.

(С₅) Количество вариантов ответов в ТЗ (чем их больше, тем ТЗ обычно сложнее).

(С₆) Количество символов, не совпадающих по начертанию в русском языке.

(С₇) Количество вставных усложняющих элементов (формулы, графики и т. п.)

Помимо частных критериев сложности могут быть использованы и интегральные (I_n). Их целесообразно конструировать как линейные комбинации перечисленных выше частных критериев $C_1...C_7$ с различными весовыми коэффициентами (v_i):

$$I_n = \sum_{i=1}^7 v_i C_i \quad v_i = \frac{Kv_i}{\sum_{i=1}^7 Kv_i} * 100\% \quad \sum_{i=1}^7 v_i = 1$$

где $\{v_i\}$ – система весовых коэффициентов для n -го интегрального показателя (часть из них может быть нулевыми), (Kv_i) – значение коэф-

фициента вариации, рассчитанное по каждому из частных критериев; n – индекс интегрального критерия.

При разных наборах $\{v_i\}$ будет осуществляться разная акцентуация частных критериев сложности, поэтому и интерпретация разных интегральных критериев (I_n) будет различной.

Анализ в отношении $C_1...C_7$ может производиться по каждому из ТЗ, а полученные результаты затем обрабатываться статистически.

Критерий "соответствие отдельных ТЗ и тестов теме дисциплины"

Соответствие тестового материала предметной области изучаемой дисциплины определяется на основе формирования терминологических профилей. *Терминологический профиль* (ТП) представляет собой вектор процентных долей встречаемости терминов дисциплины в анализируемом объекте (ТЗ, тесте, учебном курсе).

Источниками формирования ТП темы и/или дисциплины (ТПД) можно считать: рабочую программу, набор вопросов к зачету (экзамену), версию электронного учебника (с переводом в формат *.txt). Источниками формирования ТП ТЗ являются тексты вопроса и вариантов ответов.

Обработка текстов для получения критериев оценки ТМ выполняется в соответствии с алгоритмом:

1. В текстах источников, предназначенных для формирования ТПТЗ и ТПД, выделяются эталонные словоформы. Разнообразие словоформ определяется следующими характеристиками: "единичный – множественный"; залог; "женский – мужской род"; падеж (влияет на падежное окончание).

2. Из полученного набора словоформ (для каждого анализируемого объекта) исключаются: общеупотребительная лексика, предлоги и союзы. Для исключения общеупотребительной лексики формируется ТП общеупотребительных слов (ТПОС).

3. В ТПТЗ подсчитываются процентные доли встречаемости оставшихся терминов.

4. В ТПД из полного набора терминов выбираются те, которые остались в наборе ТПТЗ после исключения из него общеупотребительных терминов.

5. Для усеченного набора терминов в ТПД также подсчитываются процентные доли.

6. Степени соответствия ТПД и ТПТЗ целесообразно оценивать через парный коэффициент корреляции Пирсона (r), т. к. в ТПТЗ формируется много терминов с равными рангами.

Поскольку отдельные ТЗ часто ориентированы лишь на достаточно узкие вопросы, то показатели совпадения ТПТЗ для отдельных ТЗ и ТПУК могут быть невысокими. Следовательно, при оценке соответствия полученные значения r необходимо интерпретировать.

По приведенному алгоритму можно выполнять оценку соответствия текстового содержания отдельного ТЗ и/или группы ТЗ какой-либо теме или совокупности тем учебной дисциплины.

Критерий "полнота тематического охвата ТМ по дисциплине"

Полноту тематического охвата ТМ по дисциплине можно оценивать по совпадению ТП всей базы ТЗ с ТПД по рассмотренному выше алгоритму. В качестве оценки соответствия принять значения коэффициента корреляции Пирсона.

Критерий "политематичность ТЗ и тестов"

Политематичность определяет способность ТМ (ТЗ, тест) отображать содержание разных учебных дисциплин. Для этого дополнительно формируются ТПД "родственных" дисциплин

(или тем). Условие политематичности объекта ТМ так же можно формировать по значению коэффициента корреляции Пирсона.

Вывод

Автором статьи рассмотрены некоторые направления формального анализа текстов тестовых заданий в отношении характеристик их качества. Предложен алгоритм, позволяющий производить текстологический анализ текстов ТЗ в автоматизированном режиме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аванесов В. С.* Научные основы тестового контроля знаний. М.: Исследовательский центр, 1994. – 135 с.
2. *Нейман Ю. М., Хлебников В. А.* Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов. – М.: Прометей, 2000. – 169 с.
3. *Сысоева Л. А.* Методика построения логико-семантической модели структуры содержания дисциплины / Вопросы тестирования в образовании. № 8, 2003. – Москва, Центр тестирования при Министерстве образования РФ. 2003. С. 15–20 с.
4. *Чельщикова М. Б.* Разработка педагогических тестов на основе современных математических моделей / Уч. пособие. – М.: Исслед. центр проблем качества подготовки специалистов, 1995. 32 с.: ил.

УДК 004.942

А. Э. Панфилов, В. А. Камаев***

МЕТОДИКА ФОРМАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ АСУТП

*Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградский государственный технический университет
**Волгоградский государственный технический университет
(kamaev@cad.vstu.ru, pansanya@atricom.ru)

В рамках компьютерной поддержки процесса обучения студентов – системотехников представляет интерес разработка тренажеров для отработки навыков проектирования АСУТП. Такие тренажеры направлены на принятие проектных решений на основе последовательного ознакомления обучаемых с задачами обследования технологического процесса (ТП), выбором идей и алгоритмов управления. В основе подобных тренажеров лежит имитационная модель ТП – виртуальный ТП. Данная работа посвящена формальному описанию объектов ТП, как системы движения и преобразования материальных и энергетических потоков.

Ключевые слова: проектирование АСУТП, объект технологического процесса, тренажер, виртуальный технологический процесс, движение и преобразование материальных и энергетических потоков.

A. E. Panfilov, V. A. Kamaev

THE TECHNIQUE OF FORMAL DESCRIPTION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS FOR THE AUTOMATED DESIGN OF PCS

As part of the computer-assisted learning process of students – the development of systems analysts was of interest to simulators for the development of the skills of designing PCS. Such simulators are aimed at the adoption of design decisions on a consistent basis with the purpose of familiarizing the trainees survey technological process (TP), the choice of ideas and control algorithms. The basis of these simulators is the simulation model TP – a virtual TP. This work is devoted to formal description of the objects TP, as a system of movement and transformation of tangible and energy flows.

Design of PCS, object of technological process, simulator, virtual technological process, movement and transformation of material and power streams.

Одним из эффективных направлений использования вычислительной техники является создание виртуальных (компьютерных) средств

для обучения, в том числе моделей и тренажеров различного назначения. В рамках данного направления представляет интерес разработка

и внедрения в учебную практику своеобразных тренажеров для отработки навыков проектирования АСУТП. Такие тренажеры направлены, в отличие от распространенных, не на моделирование реальных объектов, а на имитацию обстановки, в которой происходит принятие проектных решений на основе последовательного ознакомления обучаемых с задачами обследования технологического процесса (ТП), с выявлением потребности в автоматизации ряда задач, с обоснованием эффекта от автоматизации, с выбором идеи и алгоритмов управления. В основе подобных тренажеров лежит виртуальный ТП, которые представляет собой имитационную модель ТП, структура которого может произвольно варьироваться, а показатели функционирования и содержательные постановки задач управления допускают интерпретацию на языке реального технологического процесса-прототипа.

Данная работа посвящена формальному описанию объектов ТП для автоматизированной системы конструирования АСУТП.

Классический подход к построению моделей [1] происходит в три этапа:

построение концептуальной модели системы и ее формализация;

алгоритмизация модели системы и ее машинная реализация;

получение и интерпретация результатов моделирования системы.

В результате следования данной схеме построения модель получается адекватной объекту-оригиналу, что гарантируется процессом построения, и соответствует задаче, для которой она построена.

Чтобы автоматизировать процессы построения моделей соответствующих первому и второму этапам предлагаются две идеи:

1. Автоматизированное построение концептуальной модели. Так как построение модели исследуемого объекта идет "от задачи", то для автоматизированного конструирования моделей необходимо определить и иметь множество задач, отталкиваясь от которых начнется процесс построения модели. Применительно к конструированию виртуального ТП, для целей обучения проектированию АСУТП, для формирования множества задач надо использовать те обязательные положения, которые должны быть изучены в ходе обучения и которые регламентируются государственным образовательным стандартом. Чтобы конструирование было возможным необходимо для каждой модели элемента ТП сопоставить задачи, которые могут быть на ней исследованы.

2. Автоматизация алгоритмизации и машинной реализации. Так как в ТП можно выделить отдельные структурные элементы ТП (соответствующие технологическим установкам, агрегатам, транспортным механизмам и т. п.), то построение модели целого ТП будет происходить путем объединения моделей отдельных структурных элементов ТП с учетом их взаимодействия между собой. Для упрощения алгоритмической модели желательно чтобы модели отдельных структурных элементов ТП имели бы общий подход в описании, что привело бы к упрощению трудностей связанных с сопряжением моделей элементов между собой.

При обучении проектированию АСУТП используются знания из различных смежных учебных дисциплин (Алгоритмическое обеспечение АСОИУ, Моделирование систем, Основы теории управления и др.). Каждая отдельная учебная дисциплина рассматривает АСУТП со своей точки зрения, делая упор на задачах, специфичных данной дисциплине. Для учета этой особенности предлагается конструировать виртуальные ТП под желаемые задачи, которые могут быть исследованы на полученном ТП.

Совокупность всех задач, изучаемых в учебных дисциплинах специализации подготовки инженеров-системотехников, образуют множество задач. При определении множества задач учебных дисциплин использовался Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования подготовки инженеров по направлению 654600 – "Информатика и вычислительная техника".

По каждой учебной дисциплине стандарт содержит краткую аннотацию тем и вопросов, которые должны быть изучены в рамках данной дисциплины. Для выделения задач изучаемых в каждой дисциплине делается анализ аннотации и выбираются те задачи, которые можно отнести к проектированию или функционированию АСУТП.

В результате анализа государственного образовательного стандарта выделены 3 группы задач, при решении которых могут быть использованы виртуальные ТП:

1) задачи, которые решаются с использованием программно реализованной модели ТП (идентификация, выбор системы управления и т. п.);

2) задачи, которые требуют только проверки на программно реализованной модели ТП (задачи, решаемые независимо от программной модели ТП, но результаты или исходные данные которых используются для экспериментов

с виртуальным ТП, например, анализ и синтез топологической структуры вычислительной сети);

3) задачи, которые не зависят от программно реализованной модели ТП, но связаны с описанием ТП (качество программного обеспечения, проектирование баз данных, документирование и стандартизация и т. п.).

Выделенное множество задач учебных дисциплин отображается на множество моделей виртуального ТП, путем соотнесения каждой модели виртуального ТП множества задач, которые могут быть на ней поставлены.

Для описания и исследования технологического процесса применяются различные методики:

аппарат передаточных функций и интегро-дифференциальных уравнений. Данный способ описания направлен на точное описание АСУТП, что является не обязательно для построения виртуального ТП;

способы описания моделируемых объектов в виде математических схем. Для представления виртуального ТП можно использовать динамические (D-схемы) или агрегативные модели (A-схемы);

функционально-физический метод представления, разработанный Р. Колером. Данный метод хорош для конструирования новых технических систем, обладающих заданными свойствами, но сложен для использования к задаче конструирования и моделирования виртуальных ТП и др.

В данной работе выбран подход к описанию объекта на основе представления агрегата. Структурно ТП состоит из технологических объектов (отдельные технологические установки и устройства, агрегаты) – элементов ТП. Каждому элементу ТП соответствует элемент виртуального ТП.

Виртуальный ТП конструируется из элементов виртуального ТП, поэтому к последним предъявляется требование, состоящее в обеспечении возможности автоматизированной компоновки различных вариантов моделей ТП на основе сопряжения элементов виртуального ТП, путем унификации их входов и выходов.

Однако цели использования математических моделей ТП в реальном проектировании и в обучении проектированию различны. Для целей реального проектирования основным требованием является адекватность моделей реальному процессу. Для целей обучения важно сходство постановок (и, следовательно, сходство методов формализации, алгоритмизации и ре-

шения) задач управления, которые могут быть поставлены на виртуальном ТП, с задачами управления реальным процессом-прототипом. Адекватность моделей прототипа и виртуального ТП не требуется: с целью обеспечения охвата возможно большего числа позиций обучения основам проектирования АСУТП в виртуальный ТП могут быть включены элементы, не присущие прототипу. Именно в этом состоит главное отличие предлагаемого подхода от известных подходов к построению тренажеров.

В рамках отдельно выбранного вида ТП (типа производства) можно выделить множество элементов ТП которые структурно составляют ТП. Используя выделенное множество элементов ТП можно конструировать различные по структуре, но одинаковые по виду (по принадлежности к типу производства), виртуальные ТП.

В связи с этим предложено для каждого вида ТП (по типу производства) иметь свое множество моделей элементов виртуального ТП.

Модель элемента i -го виртуального ТП M_{ij} предлагается описать пятью множествами атрибутов:

$$M_{ij} = \langle S_{ij}, P_{ij}, X_{ij}, C_{ij}, Z_{ij} \rangle, j = 1 \dots N_i, i = 1 \dots Q, \quad (1)$$

где S_{ij} – математическая модель функционирования j -го технологического объекта i -го виртуального ТП; P_{ij} – множество параметров j -й математической модели (константы в уравнении математической модели) i -го виртуального ТП; X_{ij} – множество переменных (входных, выходных, состояний) j -ой математической модели i -го виртуального ТП; C_{ij} – множество описательных параметров j -го элемента i -го виртуального ТП (название модели, тип модели, комментарий); Z_{ij} – задачи из множества задач учебных дисциплин, для которых может использоваться j -я модель i -го виртуального ТП; N_i – количество различных моделей элементов, применяемых для i -го виртуального ТП; Q – количество видов виртуальных ТП.

Для математического описания элементов ТП применяется подход, разработанный Абдулаевым А. А., Алиевым Р. А., Улановым Г. Н. [2], согласно которому ТП рассматривается как система движения и преобразования материальных и энергетических потоков. Согласно этому подходу каждый технологический объект ТП может быть отнесен к звену одного из четырех типов:

звено-имитатор источник сырья (множество I_i);

звено-имитатор приемника готовой продукции (множество I_2);

преобразующее звено, имитирующее процесс на конкретной технологической установке, агрегате (множество I_3);

интегрирующее звено – емкости и склады (множество I_4).

Данный подход позволяет отвлечься от детальных особенностей динамики отдельных агрегатов, полагая их существенно менее инерционными, чем процессы транспортирования материальных потоков и накопления/сработки складов. Соответственно структура АСУТП предполагается многоуровневой, задачи управления малоинерционными агрегатами поручаются локальным системам автоматизации, а основная цель, критерии и функционирование АСУТП рассматривается без учета их динамики.

Схеме материальных потоков ТП ставится в соответствие некоторый ориентированный граф, вершинами которого являются звенья, а ребра показывают направление движения материальных потоков.

Ребро орграфа из вершины i в вершину j в дискретный момент времени s характеризуется величиной вектора потока – $P_{ij}[s]$ (расход, состав, температура и т. п.). Вершина i орграфа в дискретный момент времени s характеризуется величиной вектора потенциала – $X_i[s]$ (запас продукта).

Система уравнений модели элемента ТП имеет следующий вид:

– ограничение на пропускную способность отдельных потоков:

$$P_{ij}[s] \leq C_{ij}[s], \quad (2)$$

где $C_{ij}[s]$ – пропускная способность потока из вершины i в вершину j в момент времени s ;

– ограничение на производительность отдельных элементов:

$$\sum_{j \in B(i)} P_{ij}[s] \leq K_i[s], \quad (3)$$

где $K[i]$ – пропускная способность элемента i в момент времени s , $B(i)$ – множество выходных элементов для элемента i ;

– ограничение на выходные элементов:

$$P_{ij}[s] = f_i(U_i[s]; P_{ki}[s], \forall k \in A(i)), \quad (4)$$

где $U_i[s]$ – вектор управляющих воздействий на i -е звено в s -й такт времени, $f_i()$ – вектор-функция, $A(i)$ – множество звеньев, из которых исходящие ребра входят в i -е звено;

– ограничение на материальный баланс по технологическим установкам):

$$\sum_{k \in A(i)} P_{ki}[s] - \sum_{j \in B(i)} P_{ij}[s] \leq 0, \text{ если } i \in I_3; \quad (5)$$

– ограничения на количество продуктов в складах:

$$X_i[s] = \sum_{i=1}^s \left(\sum_{k \in A(i)} P_{ki}[s] - \sum_{j \in B(i)} P_{ij}[s] \right) + X_i[0], \quad (6)$$

$$0 \leq X_i[s] \leq L_i; \quad (7)$$

– ограничение на материальный баланс по сырьевым ресурсам:

$$X_i[s] - X_i[s-1] = - \sum_{j \in I_4} P_{ij}[s] - \sum_{k \in I_3} P_{ik}[s], \text{ если } i \in I_1; \quad (8)$$

– ограничения по промежуточным продуктам:

$$X_i[s] - X_i[s-1] = \sum_{j \in I_4} P_{ji}[s] + \sum_{k \in I_3} P_{ki}[s], \text{ если } i \in I_2; \quad (9)$$

– ограничение по товарным продуктам:

$$X_i[s] - X_i[s-1] = \sum_{j \in I_1} P_{ji}[s] - \sum_{j \in I_2} P_{ij}[s] + \sum_{j \in A(i) \cap I_3} P_{ji}[s] - \sum_{j \in B(i) \cap I_3} P_{ij}[s], \text{ если } i \in I_4. \quad (10)$$

Критерий оптимальности:

$$\Phi = \sum_{s=1}^N \left(\sum_{j \in I_2} \sum_i C_{ij}[s] P_{ij}[s] - \sum_{i \in I_1} \sum_j C_{ij}[s] P_{ij}[s] - Z[s] \right). \quad (11)$$

где $Z[s]$ – функция, характеризующая затраты на производство в момент времени s .

Однако в приведенном подходе не учитывается время запаздывания в передаче материальных потоков от агрегата к агрегату, что является недостатком при применении этого подхода для распределенных ТП.

Это устраняется путем расширения аргументов функции описания преобразующего звена:

$$P_{ij}[s] = f_i(u_i[s]; u_i[s-1]; \dots; u_i[s-t_1]; P_{ki}[s]; P_{ki}[s-1]; \dots; P_{ki}[s-t_2], \forall k \in A(i)) \quad (12)$$

где t_1, t_2 – количество тактов запаздывания по управлению и потокам соответственно.

Принятый подход представления ТП на базе материальных и энергетических потоков достаточен для обучения проектированию АСУ, так как хорошо описывают медленную составляющую динамики ТП как наиболее важную для выработки основных проектных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Советов, Б. Я. Моделирование систем [Текст]: учеб. для вузов по спец. "Автоматизир. системы обработки информ. и упр." / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.
2. Абдуллаев, А. А. Принципы построения автоматизированных систем управления промышленными предприятиями с непрерывным характером производства [Текст] / А. А. Абдуллаев, Р. А. Алиев, Г. Н. Уланов; под общ. ред. Б. Н. Петрова. – М.: Энергия, 1975. – 440 с.

УДК 378.147

А. Н. Савкин, Д. Е. Декатов, Е. А. Захаров, А. В. Крохалева
**РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
 ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ
 В ВОЛГОГРАДСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

Волгоградский государственный технический университет (tfpic@vstu.ru)

Рассматривается опыт создания компонентов информационной системы поддержки процесса заочного обучения.
Ключевые слова: информационная система, образовательные ресурсы.

Savkin A., Dekatov D., Zaharov E., Krohaleva A.

**DEVELOPMENT AND REALIZATION OF COMPONENTS OF INFORMATION SYSTEM
 OF SUPPORT OF PROCESS OF CORRESPONDENCE COURSE AT THE VOLGOGRAD STATE
 TECHNICAL UNIVERSITY**

Experience of creation of components of information system of support of process of correspondence course is considered.
 Information system, educational resources.

В настоящий момент осуществляется разработка и реализация компонентов системы информационной поддержки заочного обучения, существенную роль в которой играют дистанционные технологии [1]. В процессе анализа существующей технологии заочного обучения были выделены основные виды информации, которые используются в образовательном процессе студентами, преподавателями и деканатом, выполняющим административные функции; определены формы ее представления, основанные на дистанционных технологиях, и в частности, методические указания к изучению курса и выполнению контрольных заданий с текстами контрольных заданий и контрольными вопросами для самопроверки; программные системы самотестирования, виртуальные лабораторно-практические курсы, лекционные курсы, электронные учебники, виртуальные семинары и консультации. [2]. Далее, был определен порядок их реализации и ввода в действие с учетом специфики образовательного процесса – на основе кейс-технологии или ИНТЕРНЕТ-сайтов заочного отделения Волгоградского государ-

ственного технического университета (ВолгГТУ) для Волгограда и представительств. Структура электронных учебных ресурсов приведена на рис. 1.

Поставленные задачи [2] потребовали разработки информационной технологии, обеспечивающей процесс создания и реализации необходимых электронных ресурсов на базе организационных, финансовых и технических средств деканата факультета подготовки инженерных кадров (ФПИК). С учетом проведенного анализа структуры и объема информации, используемой в процессе взаимодействия между преподавателями, студентами и деканатом в процессе заочного обучения была определена потребность в технических, кадровых и финансовых средствах, необходимых для создания электронных учебных ресурсов и разработана технология, регламентирующая последовательность операций и участников данного процесса.

Пример обобщенной технологии создания электронного учебно-методического комплекса (ЭУМК) приведен на рис. 2.



Рис. 1



Рис. 2

Следует отметить, что структура ЭУМК регламентируется приказом Минобразования РФ от 18.12.2002 № 4452 и приказом Минобрнауки РФ от 10 марта 2005 г. № 63, в соответствии с которыми ЭУМК включает руководство по изучению дисциплины, программу курса, учебное пособие, учебник, хрестоматия или конспект лекций, методические указания по выполнению самостоятельной работы, сборник тестовых заданий. Основным разработчиком ЭУМК выступает преподаватель или группа преподавателей, читающих дисциплину, для которой создается данный комплекс, а основным формальным рецензентом выступает ответственный сотрудник деканата (методист), который анализирует материал на предмет соответствия требованиям к структуре, содержанию (регламентируемому государственным стандартом высшего профессионального образования по данной специальности и рабочей программой для рассматриваемой дисциплины), оформлению.

В качестве участников процесса создания и распространения ЭУМК также выделен вычислительный центр ВолгГТУ (ОЦНИТ), который реализует функционирование ИНТЕРНЕТ-сайтов, отдел реализации, позволяющий эффективно распространять учебно-методические материалы на оптических носителях информации, а также мультимедийную лабораторию – вспомогательное подразделение, оснащенное необходимой техникой и кадрами, обеспечивающее техническую сторону создания электронных ресурсов.

Технология создания и реализации электронных ресурсов как централизованный и управляемый процесс может быть представлена на основе следующей схемы (рис. 3).

Основные операции, составляющие сущность данной технологии, основаны на информационном взаимодействии участников образовательного процесса, центральное место в котором занимает система "Электронный деканат".



Рис. 3

Эта система должна представлять собой развитие традиционной информационной системы, реализованной в деканате ФПИК на базе программно-информационных средств, и должна обеспечивать прием, обработку и, представление значительных объемов информации в режиме и формате, соответствующем требованиям дистанционных технологий. Задача создания системы "Электронный деканат" потребовала проведения анализа существующей системы работы с информацией, в частности с документами, в деканате ФПИК и построения модели, описывающей основные законченные процедуры обработки информации (функциональные модули), а также массивы информации, которые необходимо хранить в системе (базы данных). Разработанная модель представлена на рис. 4.

В рамках исследований были выделены следующие пять групп функциональных модулей, реализацию которых предполагается строить при поддержке соответствующих их назначению баз данных: модуль планирования учебного процесса, модуль организации учебного процесса, модуль учета контингента студентов, модуль учета контингента преподавателей, модуль учета движения финансовых средств.

Следует отметить, что функции информационного обеспечения студентов должны строиться на основе компонентов, отражающих результаты успеваемости за период обучения в целом, а также оперативные данные о результатах контрольных мероприятий; информацию о задолженностях, продлении сессии, отчислении и переводе на следующий курс, что имеет прямое отношение к отдельным студентам.

Для преподавателей может представляться существенной информация, в частности, об индивидуальной почасовой нагрузке. Значительно повысить эффективность взаимодействие деканата и преподавателей мог бы перевод на ИНТЕРНЕТ-технологии процесса оформления договоров на почасовую оплату и оказание услуг. Помимо этого, важной для всех участников процесса взаимодействия должна стать функция составления расписания, которая предполагает, в том числе, и учет пожеланий преподавателей относительно времени и месте проведения учебных занятий.

Значительная часть функций, закладываемая в модель "Электронного деканата" связана с необходимостью формирования документов, составляющих набор, стандартный для такого вузовского подразделения, каковым является деканат ФПИК.

Основные функциональные модули системы "ЭЛЕКТРОННЫЙ ДЕКАНАТ"

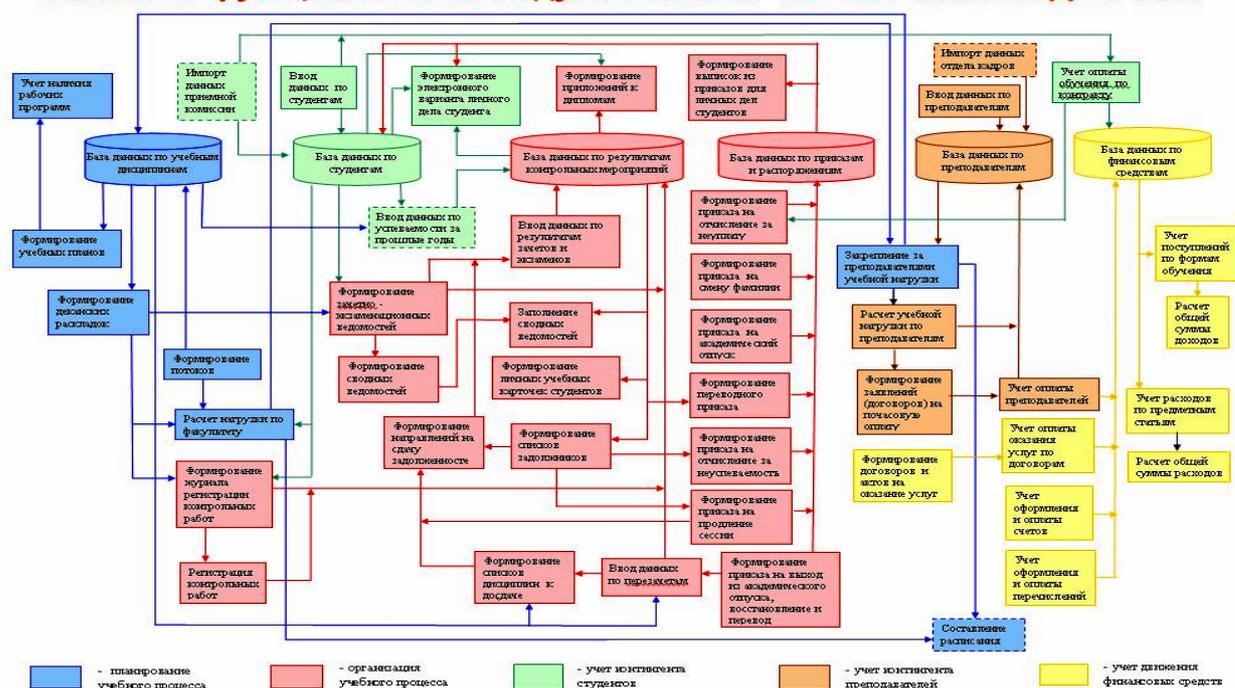


Рис. 4

Отметим также, что построение интегрированной автоматизированной системы "Электронный деканат" планируется проводить с учетом перспектив включения ее в качестве подсистемы в общую систему поддержки заочного и дистанционного образования в ВолгГТУ.

Подводя итог, можно отметить следующее. В соответствии с выявленной потребностью в поддержке процесса заочного обучения дистанционными технологиями и построенной моделью информационного взаимодействия студентов, преподавателей и деканата ФПИК, была разработана и реализована технология перевода традиционной форм обеспечения студентов учебной информацией на "дистанционный" уровень в соответствии с кейс- и ИНТЕРНЕТ-технологиями. Для обеспечения эффективной реализации образовательных компонентов информационной системы потребовалась автоматизация и интеграция ряда операций, выполняемых в рамках процесса обработки организационно-методической информации сотрудниками деканата ФПИК, что потребовало разработки информационной модели функционирования

данного подразделения. В качестве ближайшей перспективы следует определить реализацию системы "Электронный деканат" и интеграцию ее с существующими обучающими компонентами информационной системы. Проводимые разработки позволяют ожидать позитивных результатов, обусловленных реализацией концепции поддержки заочного обучения дистанционными технологиями [2] при приемлемых затратах ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савкин А. Н., Декатов Д. Е., Захаров Е. А., Крохалев А. В. Разработка компонентов информационного обеспечения для организационной и методической поддержки учебного процесса на заочном и заочно-сокращенном отделении ВолгГТУ // Материалы международной конференции "Информационные технологии в образовании, технике и медицине", г. Волгоград, 2004 г.
2. Савкин А. Н., Декатов Д. Е., Захаров Е. А., Крохалев А. В. Реализация дистанционных технологий для совершенствования процесса заочного обучения в волгоградском государственном техническом университете // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвузовский сб. науч. Ст. № 2 (28) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – С. 81–84.

УДК 971.39.21

А. А. Халилова
СЕРВИСНЫЙ ПОДХОД В ОБЛАСТИ ИНФОРМАТИЗАЦИИ

Национальный банк Республики Дагестан Банка России (kh_mourad@rambler.ru)

Рассматривается один из подходов к моделированию и созданию корпоративных информационных систем, основанный на сервисно-ориентированной архитектуре. Этот подход, ориентированный на оптимизацию корпоративной информационной системы и минимизацию ее совокупной стоимости владения, реализует ряд аспектов ITIL и ITSM.

Ключевые слова: КИС – корпоративная информационная система; ИТ – информационная технология; СБТ – структурно-базовая технология; ССВ – совокупная стоимость владения; СОА – сервисно-ориентированная архитектура; ITIL – библиотека передовых технологий в ИТ; ITSM – управление ИТ – сервисами.

A. A. Khalilova
SERVICE APPROACH IN THE INFORMATIZATIONS SPHERE

One of the approach is considered to modeling and creation corporative information systems, founded on service-oriented architecture. This approach oriented on optimization of the corporative information system and minimization its total cost holdings, realizes some aspects of ITIL and ITSM.

A corporative information system, information technology, structured-base technology, a total cost holdings, service-oriented architecture, innovation library in IT, IT service manager.

Математический анализ реального явления, процесса или системы начинается с построения соответствующей математической модели. Математические модели все шире используются для описания и анализа сложных экономических, социальных, производственных и других систем. Значительная часть вопросов, касающихся развития, обсуждается в ракурсе практического применения современных информационных технологий. Для осуществления последнего в рамках корпорации создается и эксплуатируется корпоративная информационная система (КИС).

Формализации модели объекта информатизации как сложной системы, и планированию процесса информатизации посвящено значительное количество работ, в частности [1, 2]. Применение той или иной модели зависит от многих факторов и в значительной (может определяющей) мере – от характера деятельности корпорации.

Практически любое предприятие, в особенности в сферах экономики, производства, обслуживания, можно рассматривать как бизнес-систему (БС), реализующую некоторые бизнес-процессы (БП) и бизнес-функции (БФ) [3].

Область информатизации и телекоммуникации с точки зрения ее практического приложения можно рассматривать как систему обслуживания. Следовательно, взгляд на КИС как на сложную БС, реализующую БП и БФ, вполне оправдан. Такие системы выполняют функции обслуживания основной деятельности корпорации (предприятия).

Независимо от организационной формы ИТ-обслуживания (собственное подразделение, аутсорсинг, их сочетание и др.) интенсивно развивается сервисный подход к организации этого процесса (особенно в форме аутсорсинга). В сфере услуг вовлечена большая часть на-

учных и инженерных работников. Она является одной из главных потребителей информационных технологий. Одной из причин расширения сферы услуг является специализация и рост популярности аутсорсинга.

В то же время не существует общепринятого определения сервиса в силу множества причин. В частности, сервисные системы в той или иной мере включают людей, технологии и информационные ресурсы. Это связано с такими факторами, как обучение и переподготовка кадров, их квалификация, технологически – масштабирование может обеспечить значительную выгоду, информационные ресурсы обладают большим потенциалом и масштабированием и др.

Сервисные системы – это сложные адаптивные системы, состоящие из людей, которые сами по себе сложны и адаптивны. Такие системы являются динамичными и открытыми, а не простыми и оптимизированными. Поэтому представляется необходимым по большому счету развивать общую теорию обслуживания с четко определенными вопросами, инструментами, методами и практическими реализациями применительно к жизни общества [4]. В связи с этим не лишне заметить, что в докладе Национальной инженерной академии США [5] говорится: "академической науке следует... адаптировать и применять системы и промышленные инженерные концепции, методологии контроля качества в области сервиса".

Исходя из изложенного и учитывая что, несмотря на наличие значительного числа практических работ, сервисный подход к организации и функционированию системы информационно-телекоммуникационного обслуживания далек от завершения в плане теоретическом,

технологическом и методологическом, исследовании и разработки в этих направлениях представляются актуальными.

Далее в статье приводятся некоторые рассуждения о методологии сервисного подхода и классификации сервисов применительно к эксплуатации и сопровождению корпоративных информационно-телекоммуникационных систем (КИС).

КИС рассматривается как организационно увязанная совокупность пространственно распределенных человеко-машинных систем (сетей), подсистем, технических и программных средств, информационных и телекоммуникационных технологий и подразделений информатизации. КИС обеспечивает автоматизацию всех основных информационно-аналитических и расчетных работ корпорации с использованием централизованной и децентрализованной обработки информации, электронный обмен документами и защиту информации с учетом ее срочности, важности и конфиденциальности.

Информационные системы в составе КИС объединены в единую информационно-вычислительную систему, которая включает ИС центрального аппарата и ИС подразделений, филиалов и т. д.

Сервисы КИС являются результатом функциональной деятельности подразделений информатизации и предоставляются потребителям – функциональным подразделениям или должностным лицам корпорации (или ее подразделения) в соответствии с установленными регламентами взаимодействия. При этом сервисы рассматриваются как потенциально достижимая или достигнутая цель направленного технологического процесса или процессов (операций), основывающихся на функциональных возможностях подразделений информатизации, реализуемых в конкретных условиях.

Существование и возможности предоставления сервиса обуславливаются наличием:

не менее двух субъектов поставщика и потребителя;

потребности в результатах деятельности подразделения информатизации вне этого подразделения;

необходимости в регламентации процедур и процессов предоставления сервисов со стороны потребителя.

По общему предназначению, характеру задач потребителя, а также задач подразделения информатизации сервисы КИС можно разделить на конечные, базовые и системные.

Конечные сервисы являются конечным продуктом или результатом деятельности подраз-

деления информатизации. К таким сервисам относятся:

1. Информационные сервисы:

сервисы расчетных систем;
сервисы аналитических систем;
сервисы информационных систем;
сервисы справочных систем;
сервисы взаимодействия корпорации с внешними организациями.

2. Телекоммуникационные сервисы:

транспортные сервисы;
сервисы речевого общения;
сервисы документального информационного обмена;
сервисы видеосвязи;
сервисы взаимодействия между организациями.

Базовые сервисы являются опосредствованными (без обозначения конкретных потребителей и поставщиков), состоят из формализованных типов процедур (операций) и составляют операционную основу любого конечного сервиса.

К типовым базовым сервисам относятся:

сопровождение учетно-расчетных систем;
сопровождение АРМ потребителей сервисов учетно-расчетных систем;
администрирование баз данных;
информационное обслуживание;
техническая поддержка АРМ пользователей;
креативные (создания, развития) сервисы.

Системные сервисы предназначены для обеспечения эффективной реализации процессов предоставления конечных сервисов. К ним относятся также сервисы, реализуемые между различными подразделениями информатизации, между последними и внешними организациями.

К системным сервисам относятся:

1. Администрирование и оперативное управление КИС:

оперативно-техническое управление системами (сетями), подсистемами;
администрирование систем (сетей), подсистем КИС;
оперативное восстановление систем (сетей) подсистем КИС.

2. Системные сервисы КИС:

сервисы базовой сети единой телекоммуникационной системы;
сервисы отдельных видов корпоративной связи (например, спутниковой);
сервисы корпоративных телекоммуникационных систем отдельных регионов (подразделений);
сервисы передачи данных по протоколам (например, Frame Relay);

сервисы магистральных каналов передачи и т. д.

3. Основные сервисы технической эксплуатации КИС:

восстановление технических средств;
техническое обслуживание технических средств;

сопровождение программных средств;
техническое обеспечение КИС;
метрологическое обеспечение КИС.

Основные сервисы технической эксплуатации КИС делятся на внутренние и внешние. Внешние сервисы предоставляются сервисными центрами, подрядными организациями, операторами сетей и др.

Все сервисы КИС с точки зрения условий регламентации их предоставления потребителям делятся на:

периодические регулярные (со строго определенных временными интервалами – ежедневно, ежемесячно, ежегодно и т. д.);

периодические нерегулярные (с определенными ожидаемыми интервалами времени, связанными с прогнозируемыми событиями – износ, старение, расход ресурсов и т. д.).

Процесс предоставления конечных сервисов реализуется на базе ряда принципов:

1. Принцип системности – определяет порядок предоставления конечного сервиса КИС как взаимоувязанной совокупности реализации базовых сервисов.

2. Принцип взаимосвязи показателей качества конечных, базовых и системных сервисов – устанавливает единую иерархическую структуру показателей качества сервисов.

3. Принцип единственности поставщика сервисов – требует определения одного поставщика-подразделения информатизации сервиса.

4. Принцип конечной ответственности за качество предоставляемого сервиса – исключает возможность переложения ответственности на третью сторону.

5. Принцип контроля и управления сервисами – предполагает наличие постоянного мониторинга за состоянием предоставляемых конечных сервисов, своевременную реакцию на возникновение сбоев, нестандартных ситуаций, снижение качества, нарушение порядка предоставления или несанкционированного прекращения предоставления сервиса.

6. Принцип информированности – предполагает рассматривать совокупность конечных сервисов КИС как информационно открытую систему в рамках информационного пространства КИС.

7. Принцип максимального соответствия – предполагает обеспечение соответствия содержания предоставляемого конечного сервиса функциональному назначению для потребителя и функциональным возможностям поставщика сервиса.

К качеству предоставляемых конечных сервисов предъявляются требования по обеспечению своевременности, достоверности и безопасности сервиса.

Сервисная организация КИС предполагает наличие в этой системе:

организации учета сервисов;
порядка заказа и предоставления сервисов;
порядка предоставления сервисов КИС внешним организациям;

порядка получения сервисов от внешних организаций;

порядка внесения изменений в состав сервисов и учетные документы;

управления процессами предоставления сервисов;

функциональных обязанностей поставщиков сервисов.

Для проектирования, создания, функционирования, сопровождения, оптимизации и реорганизации системы сервисного обслуживания в рамках КИС, равно как и самой КИС, может быть эффективно использована структурно-базовая технология создания систем коллективного пользования [6], нашедшая применение и реализованная при создании ряда систем отраслевого, регионального, корпоративного и внутрикорпоративного уровней. Вопрос использования ее по отношению к системе сервисной организации обслуживания ставится впервые. Но это заслуживает отдельного обсуждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казанский Д. Л. Формализация представления работы предприятия // Сети и системы связи. – 1998. – № 3.

2. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем // Финансы и статистика. – М, 1984.

3. Халилов А. И., Халилова А. А. Методы моделирования и оптимизации корпоративных информационных систем // Материалы IV республиканской научно-практической конференции "Дагинформ-2005" / ДНЦ РАН. – Махачкала, 2006.

4. Спорер Дж., Малио П., Бейли Д., Грул Д. Шаги к науке о сервисах // Открытые системы. – № 2, 2007.

5. U.S. Nat'l Academy of Engineering. The Impact of Academic Research on Industrial Performance // Nat'l Academies Press, 2003.

6. Халилов А. И. Структурно-базовая технология создания систем коллективного пользования // Ставрополь: Сев. Кав. ГТУ, 2001.

УДК 519.876.5

Т. Г. Гурская, В. М. Зарипова

ЭНЕРГО-ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ЭФФЕКТА ПОТЕНЦИАЛА ТЕЧЕНИЯ

Астраханский государственный университет (vlitera@rambler.ru)

В энерго-информационной модели входные и выходные величины между собой связаны коэффициентом передачи. В данной работе ставится задача нахождения значения этого коэффициента для эффекта потенциала течения.

Ключевые слова: физико-техническим эффектом, энерго-информационная модель цепей, потенциал течения.

T. Gurskaja, V. M. Zaripova

ENERGO-INFORMATION MODEL FOR EFFECT OF POTENTIAL OF CURRENT

In energo-information model entrance and target sizes are among themselves connected by factor of transfer. In the given work The problem of a finding of value of this factor for effect of potential of current is put.

Physicotechnical effect, energo-information model of circuits, potential of current.

Потенциалом течения называется разность потенциалов, возникающая между концами капилляра или системы капилляров при протекании жидкости через пористую перегородку под действием внешнего давления [1]. Адаптированное схематическое изображение эффекта потенциала течения приведено в его паспорте (см. рис. 1).

Согласно проведенному патентному анализу за 1950–2006 гг. по ведущим странам мира в этой области (России, США, Великобритании, Японии, Польши, Австрии, Германии) эффект потенциала течения широко используются в электрокинетических преобразователях, датчиках давления, виброметрах, сейсмических приемниках, измерителях ударной волны при взрывах и т. д.

Таким образом, актуальной становится разработка единой модели описания физического принципа действия эффекта потенциала течения.

Создание подобной модели возможно на основе энерго-информационной модели цепей (ЭИМЦ) различной физической природы, разработанной профессором М. Ф. Зариповым и его школой [2]. Цепью определенной физической природы называется идеализированная материальная среда, имеющая определенные геометрические размеры и характеризующаяся физическими константами, присущими явлениям данной физической природы.

Отличительными особенностями ЭИМЦ являются:

представление технического устройства в виде совокупности цепей различной физической природы, взаимодействующих между собой;

описание физических процессов внутри каждой цепи однотипными уравнениями с помощью величин – аналогов и параметров – аналогов;

взаимодействие цепей различной физической природы в техническом устройстве отражается введением физико-технических эффектов.

Физико-техническим эффектом (ФТЭ) называется причинно-следственная связь, отражающая преобразование одной входной физической величины в другую выходную физическую величину или параметр.

Энерго-информационная модель оперирует следующими величинами: P – величина импульса, Q – величина заряда, U – величина воздействия, I – величина реакции; и параметрами: R – сопротивление, $G = I/R$ – проводимость, C – емкость, $W = I/C$ – жесткость, L – индуктивность, $D = I/L$ – дедуктивность.

Величины характеризуют внешнее воздействие на цепь данной физической природы и ее реакцию на это воздействие. Параметры характеризуют относительную неизменность материальной среды, в которой протекают физические процессы.

Принцип действия всех электрокинетических преобразователей основан на преобразовании входного механического давления в электрический сигнал.

Согласно ЭИМЦ аналогом механического давления и, соответственно, входной величиной эффекта потенциала течения является величина воздействия гидравлической природы цепей, которая выражается формулой:

$$U_h = P_1 - P_2 = \Delta P \left[\text{Н/м}^2 \right], \quad (1)$$

где U_h – величина воздействия гидравлической природы, ΔP – разность давлений.

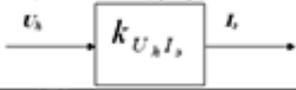
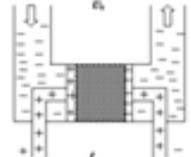
| Потенциал течения | |
|--|---|
| Формула эффекта согласно ЗИМЦ $I_s = k_{U,I} U_k$ | Параметрическая структурная схема ФТЭ  |
| Физические формулы описания ФТЭ $\zeta = \frac{\eta \kappa U}{\epsilon \epsilon_0 P}, \text{ т. к. } I = \frac{U}{R} \text{ и } \kappa = \frac{1}{\rho}, \quad S = \pi r^2, \quad I = \frac{\epsilon \epsilon_0 \zeta S}{\eta l} P$ | |
| Формула коэффициента межцепной (внутрицепной) связи или формула параметра $k_{U,I} = \frac{\epsilon \epsilon_0 \zeta S}{\eta l} \left[\frac{A \cdot M^2}{H} \right]$ | |
| Описание обозначений в формулах (единицы измерений) | |
| ϵ – диэлектрическая проницаемость, ϵ_0 – электрическая постоянная $[\Phi/M]$, η – коэффициент вязкости $[H \cdot c/M^2]$, κ – удельная электропроводность жидкости $[1/OM \cdot M]$, U – электрическое напряжение $[B]$, P – давление $[H/M]$, ζ – электрокинетический или дзета-потенциал $[B]$, S – площадь сечения $[M^2]$, l – длина сечения $[M]$, I – сила тока $[A]$, R – сопротивление $[OM]$. | |
| Числовые значения физических констант, свойств материалов, геометрические размеры, входящие в формулу коэффициента $\epsilon = 6 - 81$, $\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \Phi/M$, $\eta = 1,005 \cdot 10^{-3} H \cdot c/M^2$, $\zeta = 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-3} B$, $r = 0,01 \cdot 10^{-2} - 0,023 \cdot 10^{-2} M$, $l = 13,8 \cdot 10^{-2} - 30 \cdot 10^{-2} M$ | Эксплуатационные характеристики ФТЭ $k_{U,I} = 0,012 \cdot 10^{-12} - 0,126 \cdot 10^{-12} A \cdot M^2/H$, Чувствительность – до $30 \text{ мкА} \cdot M^2/H$, Диапазон измерений – $0,1 - 10^3 \frac{H}{M}$, Цена: 1500 руб. Надежность: 0,001 откл/час Погрешность: 0,1 – 1,5 % Вес: 0,5 кг |
| Литература | |
| 1. Григоров О. Н. Электрокинетические явления. Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1973, с. 36-86. 2. Кравченко А. Ф. Физические основы функциональной электроники. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2000, с. 379-403. 3. Левшина Е. С., Новицкий П. В. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. Учеб. пособие для вузов. – Л., Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1983, с. 225-252. | |
| Рисунок технической реализации ФТЭ  | Описание особенности ФТЭ и другие его характеристики Верхний предел частотного диапазона (500 Гц и выше). Внутреннее электрическое сопротивление (около 1 МОм) |

Рис. 1. Паспорт ФТЭ потенциала течения

Выходной величиной эффекта потенциала течения является величина реакции электрической природы цепей, выраженная формулой:

$$I_s = \frac{dQ_s}{dt} [A], \quad (2)$$

где I_s – величина реакции электрической природы, являющаяся аналогом силы тока, Q_s – величина заряда электрической природы, t – время.

В энерго-информационной модели входные и выходные величины между собой связаны коэффициентом передачи. В данной работе ставится задача нахождения значения этого коэффициента для эффекта потенциала течения.

В книге [1] приводится уравнение, называемое уравнением Гельмгольца-Смолуховского, связывающее механическое давление и раз-

ность потенциалов течения, которое можно записать в виде (3):

$$\varepsilon\varepsilon_0\Delta P\zeta = \eta\kappa U, \quad (3)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость, ε_0 – электрическая постоянная, ΔP – разность давлений, ζ – электрокинетический или дзета-потенциал, η – коэффициент вязкости, κ – удельная электропроводность жидкости, U – электрическое напряжение.

Разделив левую и правую части выражения (3) на электрическое сопротивление R , и, учтя, что $I = \frac{U}{R}$ и $R = \rho \frac{l}{S}$, а $\kappa = \frac{1}{\rho}$, где I , R и ρ – сила, сопротивление и плотность электрического тока соответственно, а l , S – эффективные длина и площадь сечения, получим (4):

$$I = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\zeta S}{\eta l} \Delta P. \quad (4)$$

Теоретической основой ЭИМЦ является термодинамика необратимых процессов, позволяющая получить закономерности неравновесных процессов, не вскрывая их молекулярного механизма. В неравновесной термодинамике для количественного описания явлений используют уравнение, связывающее обобщенные потоки и силы, действующие в системе (5) [3]:

$$J_i = \sum_j L_{ij} X_j, \quad (5)$$

где J_i – обобщенные потоки, X_j – действующие обобщенные силы, L_{ij} – феноменологические коэффициенты связи потоков и сил.

Для потенциала течения уравнение (5) можно записать в следующей форме:

$$I = L_{12} \text{grad} P, \quad (6)$$

где P – давление, I – сила электрического тока течения, L_{12} – феноменологический коэффициент.

Учитывая, что аналогом силы тока в ЭИМЦ является величина реакции электрической природы I_s , равная (2), а аналогом давления является величина воздействия гидравлической природы U_h , равная (1), получим (7):

$$I_s = L_{12} \frac{dP}{dx} = L_{12} \frac{\Delta P}{\Delta x} = L_{12} \frac{1}{\Delta x} U_h \quad (7)$$

В выражении (7) величина, связывающая I_s и U_h , является коэффициентом передачи $k_{U_h I_s}$, равным (8):

$$k_{U_h I_s} = L_{12} \frac{1}{\Delta x}. \quad (8)$$

Поэтому уравнение (7) можно записать в виде (9):

$$I_s = k_{U_h I_s} U_h. \quad (9)$$

Учитывая выражения (1), (4), (9) и то, что для эффекта потенциала течения $\Delta x = l$, получаем выражение для искомого коэффициента передачи (10):

$$k_{U_h I_s} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\zeta S}{\eta l} [A \cdot m^2 / H]. \quad (10)$$

Любой ФТЭ может быть представлен в виде элементарного звена параметрической структурной схемы (ПСС), которая изображается в виде прямоугольника с обозначением входной и выходной величин. Внутри прямоугольника записывается коэффициент передачи звена (см. рис. 1).

Проведенное исследование позволяет создать формализованное описание эффекта потенциала течения в виде паспорта ФТЭ, приведенного на рис. 1.

Подобного рода формализованные описания физико-технических эффектов позволяют сделать процесс поискового конструирования технических устройств более содержательным, привлекают внимание разработчиков к наиболее ответственному узлам объекта конструирования, и, используя принципы многокритериальной оптимизации ПСС, способствуют автоматизации процесса выбора принципа действия и скелетной конструкции технического решения.

Таким образом, разработанный в процессе исследования паспорт ФТЭ потенциала течения может быть использован в инженерно-конструкторских работах при создании датчиков давления, электрокинетических преобразователей, в учебных целях в качестве справочного материала, а также для пополнения автоматизированных банков данных описаний физических эффектов и явлений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник для вузов. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 464 с.: ил.
2. Зарипов М. Ф., Зайнуллин Н. Р., Петрова И. Ю. Энерго-информационный метод научно-технического творчества / Учебно-методическое пособие / М.: ВНИИПИ, 1988. – 124 с.
3. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. – 160 с.

УДК 681.5.01:658.512.2.011.56

Ю. В. Кандырин, А. М. Кошелев
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ УПОРЯДОЧИВАНИЕ ОБЪЕКТОВ
В АССОЦИАТИВНЫХ СТРУКТУРАХ ФАКТОР-МНОЖЕСТВ

Московский энергетический институт (ТУ) (ywk@mail.ru)

В статье рассмотрены вопросы критериального структурирования вариантов на основе использования фактор множеств альтернатив. Предложены правила, позволяющие создавать фактор множества более высоких размерностей из фактор множеств более низких размерностей. Результаты работы могут быть использованы при построении критериально ориентированных справочников в САПР и при построении очередей ремонтов однородных объектов.

Ключевые слова: Многокритериальный выбор. Фактор множества. Критериальное структурирование объектов по последовательно применяемым критериям. Создание электронных справочников для САПР. Формирование очередей ремонтов однородных объектов.

Y.V. Kandyrin, A.M. Koshelev

MULTICRITERIA STRUCTURING OF OBJECTS IN ASSOCIATIVE MODELS OF FACTORS SETS

In this paper, the questions of criteria structuring of variants on the basis of usage the factor of sets of alternatives are surveyed. The rules, which permit to create the factor of set of higher dimensions from the factor of sets of lower dimensions are proposed. The results of this work can be used to build criteria orientated reference books in CAD and to organize queues of homogeneous objects to repair.

Multicriteria choice. The factor of set. Criteria structuring of objects by sequentially used criteria. Creation of electronic quick references for CAD. Organize of queues of homogeneous objects to repair.

Спектр задач, требующих упорядочивания вариантов в однородных множествах по принятым правилам, чрезвычайно широк. Это и формирование критериально-структурированных справочников, и структурирование объектов с целью выявления приоритетов вариантов, и построение очередей на ремонт, и многое другое. В данной работе предложены π и L -правила выявления приоритетов вариантов с помощью аппарата фактор-множеств в ассоциативных структурах.

Рассмотрим π -правило структурирования вариантов. На исходном множестве, представленном матрицей реляционного отношения для вариантов $\Omega = \{\omega_i(k_l)\}; i = \{1, N\}, l = \{1, M\}$ (табл. 1) выделяется множество показателей качества (ПК) $\{k_l\}, l = \{1, M\}$, назначенных лицом, принимающим решения (ЛПР).

Далее производится формирование окрестностей и фактор-множеств [1]. Под *окрестностью* O_i единичного радиуса элемента ω_i по отношению R будем понимать множество элементов $\{\omega_{i*}\}$, доминирующих или эквивалентных ω_i таких, что они могут быть описаны следующим линейным порядком $\langle \{\omega_{i*}\}, \omega_i \rangle \subseteq R$.

Таблица 1

Исходное множество альтернатив в виде реляционного отношения

| Варианты | Показатели качества вариантов $\{k_l\}$ | | | |
|------------|---|----------|-----|----------|
| | k_1 | k_2 | ... | k_M |
| ω_1 | p_{11} | p_{12} | ... | p_{1M} |
| ω_2 | p_{21} | p_{22} | ... | p_{2M} |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| ω_N | p_{N1} | p_{N2} | ... | p_{NM} |

Очевидно, что окрестностью минимальных элементов является пустое множество $-\emptyset$. Отношение R определяет доминирование альтернатив при их бинарном сравнении. Это отношение может задаваться критериями Парето (π), Слейтера (S), лексикографическим L -критерием, а также метрическими свертками. Окрестность O_i по ПК k_l определяется, по π -критерию, соотношениями

$$O_i(\Omega/k_l) \equiv \{\omega_j : k_l(\omega_j) \leq k_l(\omega_i), \omega_j, \omega_i \in \Omega\} \text{ (для } k_l \downarrow),$$

$$O_i(\Omega/k_l) \equiv \{\omega_j : k_l(\omega_j) \geq k_l(\omega_i), \omega_j, \omega_i \in \Omega\} \text{ (для } k_l \uparrow).$$

Фактор-множеством Φ^T_{Ω}/R (множества Ω по отношению R) называется множество окрестностей единичного радиуса, взятых для всех $\omega_i \subseteq \Omega, i = \{1, N\}$, т. е. $\Phi^T_{\Omega}/k_l = \{O_i(\Omega/k_l)\}, i = \{1, |\Omega|\}$. Знак "T" отображает транзитивность Φ^T_{Ω}/k_l .

Поясним методику формирования фактор-множеств и окрестностей на примере. Пусть все показатели качества приведены к минимизации, а линейные порядки вариантов по $k_l : \{L(\Omega/k_l)\}$ на $\Omega, l = 3$ заданы по условию задачи в виде

$$L(\Omega/k_1): \langle \omega_5, \omega_3, \{\omega_4, \omega_6\}, \{\omega_1, \omega_2\} \rangle,$$

$$L(\Omega/k_2): \langle \omega_4, \{\omega_1, \omega_2\}, \{\omega_3, \omega_6\}, \omega_5 \rangle, \quad (1)$$

$$L(\Omega/k_3): \langle \omega_6, \omega_5, \omega_1, \omega_4, \omega_2, \omega_3 \rangle$$

Графически, проекции альтернатив на двойки показателей качества $\{k_1, k_2\}, \{k_1, k_3\}, \{k_2, k_3\}$ представлены на рис. 1, 2 и 3, соответственно.

Для данного примера, фактор-множества $\Phi^T_{\Omega}/k_1, \Phi^T_{\Omega}/k_2, \Phi^T_{\Omega}/k_3$ по соответствующим показателям качества представлены в табл. 2, 3 и 4, соответственно.

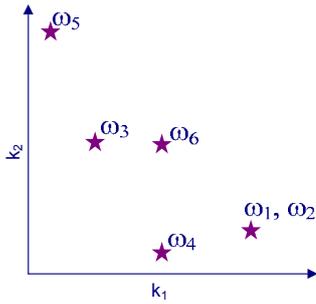


Рис. 1. Проекция альтернатив на двойку {k₁, k₂}

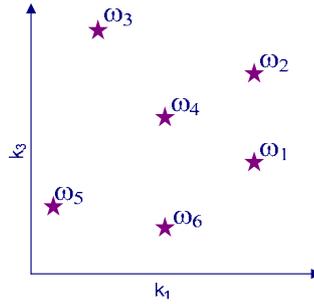


Рис. 2. Проекция альтернатив на двойку {k₁, k₃}

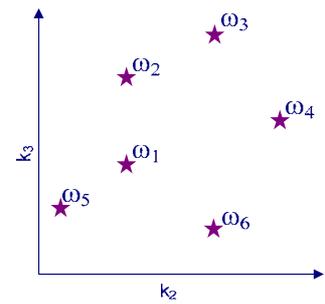


Рис. 3. Проекция альтернатив на двойку {k₂, k₃}

Таблица 2

Представление фактор-множества Φ_{Ω/k_1}^T для $L(\Omega/k_1)$

| | |
|------------|--|
| ω_i | $O_i(\Omega/k_1)$ |
| ω_1 | $\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ |
| ω_2 | $\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ |
| ω_3 | ω_5 |
| ω_4 | $\omega_3, \omega_5, \omega_6$ |
| ω_5 | \emptyset |
| ω_6 | $\omega_3, \omega_4, \omega_5$ |

Таблица 3

Представление фактор-множества Φ_{Ω/k_2}^T для $L(\Omega/k_2)$

| | |
|------------|--|
| ω_i | $O_i(\Omega/k_2)$ |
| ω_1 | ω_2, ω_4 |
| ω_2 | ω_1, ω_4 |
| ω_3 | $\omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_6$ |
| ω_4 | \emptyset |
| ω_5 | $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6$ |
| ω_6 | $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ |

Таблица 4

Представление фактор-множества Φ_{Ω/k_3}^T для $L(\Omega/k_3)$

| | |
|------------|--|
| ω_i | $O_i(\Omega/k_3)$ |
| ω_1 | ω_5, ω_6 |
| ω_2 | $\omega_1, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ |
| ω_3 | $\omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ |
| ω_4 | $\omega_1, \omega_5, \omega_6$ |
| ω_5 | ω_6 |
| ω_6 | \emptyset |

В [1], [2] показано, что результирующие фактор-множества по Парето с большей размерностью, для совокупности показателей качества $\{k_M\}$, $l = \{1, M\}$, определяются последовательным пересечением фактор-множеств меньшей размерности:

$$\Phi_{\Omega/\{k_1, k_2, \dots, k_M\}}^T = \Phi_{\Omega/k_1}^T \cap \Phi_{\Omega/k_2}^T \cap \dots \cap \Phi_{\Omega/k_M}^T \quad (2)$$

Для примера (1) фактор-множества Φ_{Ω/k_1}^T , Φ_{Ω/k_2}^T , Φ_{Ω/k_3}^T и $\Phi_{\Omega/\{k_1, k_2, k_3\}}^T$ сведены в табл. 5, иллюстрируя выражение (2). В таблице, серым цветом выделен столбец фактор-множества, содержащего нехудшие решения для π -критерия. Итак, нехудшими альтернативами Ω в π -постановке $\pi(\Omega/\{k_1, k_2, k_3\})$ являются $\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$.

В свою очередь, результирующая окрестность определяется пересечением окрестностей O_i соответствующих альтернатив ω_i

$$O_i(\Omega/\{k_1, k_2, \dots, k_M\}) = O_i(\Omega/k_1) \cap O_i(\Omega/k_2) \cap \dots \cap O_i(\Omega/k_M), \quad (3)$$

$$\Phi_{\Omega/\{k_1, k_2, \dots, k_M\}}^T = O_1(\Omega/\{k_1, k_2, \dots, k_M\}) \cup O_2(\Omega/\{k_1, k_2, \dots, k_M\}) \cup \dots \cup O_N(\Omega/\{k_1, k_2, \dots, k_M\}). \quad (4)$$

Для бинарного представления процесса формирования фактор-множеств, а также в целях оптимизации хранения данных в электронных базах данных в [2] введено понятие ассоциативной матрицы фактор-множества, имеющей вид, показанный в табл. 6.

Таблица 5

Представление фактор-множеств $\Phi_{\Omega/k_1}^T, \Phi_{\Omega/k_2}^T, \Phi_{\Omega/k_3}^T$ и $\Phi_{\Omega/\{k_1, k_2, k_3\}}^T$

| | | | | |
|------------|--|--|--|--|
| ω_i | $\Phi_{\Omega/\pi\{k_1\}}^T$ | $\Phi_{\Omega/\pi\{k_2\}}^T$ | $\Phi_{\Omega/\pi\{k_3\}}^T$ | $\Phi_{\Omega/\pi\{k_1, k_2, k_3\}}^T$ |
| ω_1 | $\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ | ω_2, ω_4 | ω_5, ω_6 | \emptyset |
| ω_2 | $\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ | ω_1, ω_4 | $\omega_1, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ | ω_1, ω_4 |
| ω_3 | ω_5 | $\omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_6$ | $\omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ | \emptyset |
| ω_4 | $\omega_3, \omega_5, \omega_6$ | \emptyset | $\omega_1, \omega_5, \omega_6$ | \emptyset |
| ω_5 | \emptyset | $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6$ | ω_6 | \emptyset |
| ω_6 | $\omega_3, \omega_4, \omega_5$ | $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ | \emptyset | \emptyset |

Таблица 6

Ассоциативная матрица фактор-множества линейного порядка $L(\Omega/k_j)$

| | | | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|
| Окрестности / Альтернативы | $O_1(\omega_1)$ | $O_2(\omega_2)$ | ... | $O_N(\omega_N)$ |
| ω_1 | 0 | B_{12} | ... | B_{1N} |
| ω_2 | B_{21} | 0 | ... | B_{2N} |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| ω_N | B_{N1} | | ... | 0 |

Здесь каждый столбец задает окрестность $O_i(\omega_i)$ i -го варианта. Совокупность всех окрестностей по k_l представляет собой транзитивное фактор-множество Φ_{Ω}^T/k_l . Вхождение варианта в соответствующую окрестность идентифицируется "1" в данной ячейке, отсутствие – "0". Так, если вариант входит в окрестность i -й альтернативы, то элемент ассоциативной матрицы $B_{i,j} = 1$, и $B_{i,j} = 0$, если – не входит. В ассоциативной форме, окрестности представляют собой столбцы ассоциативной матрицы и, матрица результирующего фактор-множества для выбранных показателей качества формируется в виде последовательного поэлементного пересечения столбцов ассоциативных матриц фактор-множества меньшей размерности

$$G_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если } B_{i,j}^1 \wedge B_{i,j}^2 \wedge \dots \wedge B_{i,j}^l \dots \wedge B_{i,j}^M = 1 \\ 0, & \text{если } B_{i,j}^1 \wedge B_{i,j}^2 \wedge \dots \wedge B_{i,j}^l \dots \wedge B_{i,j}^M = 0 \end{cases}$$

$$l = \{1, M\}. \quad (5)$$

Все приведенные рассуждения строго справедливы для безусловных неметрических π -критериев. Алгоритм решения задачи приведен на рис. 4. Как и следует из определения [1] из рис. 4 видно, что порядок пересечения фактор-множеств более низкой размерности для π -критерия неважен в силу безусловности критерия Парето.

В отличие от π -критерия, L -критерий является условным, следовательно, порядок всех последующих пересечений ассоциативных матриц для ПК будет влиять на результат. Исходя из определения, приведенного в [1], каждый последующий применяемый ПК раскрывает неопределенность между альтернативами по предыдущим ПК или критериям, следовательно, поэлементное произвольное (независимое от порядка) пересечение по выражению (5) – невозможно.

Сформулируем определение L -правила пересечения O_{li} .

Утверждение 1:

Пусть имеется два фактор-множества Φ_{Ω}^T/k_1 , Φ_{Ω}^T/k_2 . Назовем окрестностью $O_i^H(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle)$ неразличимых вариантов $\{\omega_{i-1}, \omega_i\}$ по $\langle k_1, k_2 \rangle$ выражение

$$O_i^H(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle) = [(O_i(\Omega/k_1) \cap O_{i+1}(\Omega/k_1)) \cup (O_i(\Omega/k_1) \cap O_i(\Omega/k_2))]. \quad (6)$$

Окрестность сравнимых вариантов $O_i^C(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle)$ определяется как

$$O_i^C(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle) = O_i(\Omega/k_1), \quad (7)$$

где i – не является индексом несравнимого варианта.

Тогда определим полное транзитивное фактор-множество $\Phi_{\Omega}^T/\langle k_1, k_2 \rangle$ как результат пересечения Φ_{Ω}^T/k_1 , Φ_{Ω}^T/k_2 в виде совокупности окрестностей несравнимых и сравнимых вариантов $\Phi_{\Omega}^T/\langle k_1, k_2 \rangle = O_i^H(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle) \cup O_i^C(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle)$ (8)

Проиллюстрируем L -правило небольшим примером. Пусть линейные порядки по каждому из показателей качества заданы (1) и требуется решить задачу выбора в L -критериальной постановке $L(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle)$. Фактор-множества порядков $L(\Omega/k_1)$, $L(\Omega/k_2)$ приведены в табл. 2 и табл. 3, соответственно. Выделяем неразличимые по k_1 группы альтернатив – это $\{\omega_1, \omega_2\}$ и $\{\omega_4, \omega_6\}$ (табл. 7). Пересекая, по правилу (6), окрестности неразличимых вариантов по k_1 , получаем:

$$\begin{aligned} O_4^H(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle) &= \\ &= (O_4(\Omega/k_1) \cap O_6(\Omega/k_1)) \cup (O_4(\Omega/k_1) \cap O_4(\Omega/k_2)) = \\ &= (\{\omega_3, \omega_5, \omega_6\} \cap \{\omega_3, \omega_4, \omega_5\}) \cup (\{\omega_3, \omega_5, \omega_6\} \cap \{\emptyset\}) = \{\omega_3, \omega_5\} \cup \{\emptyset\} = \{\omega_3, \omega_5\}, \\ O_6^H(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle) &= \\ &= (O_6(\Omega/k_1) \cap O_4(\Omega/k_1)) \cup (O_6(\Omega/k_1) \cap O_6(\Omega/k_2)) = \\ &= (\{\omega_3, \omega_4, \omega_5\} \cap \{\omega_3, \omega_5, \omega_6\}) \cup (\{\omega_3, \omega_4, \omega_5\} \cap \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4\}) = \{\omega_3, \omega_5\} \cup \{\omega_3, \omega_4\} = \\ &= \{\omega_3, \omega_4, \omega_5\}. \end{aligned}$$

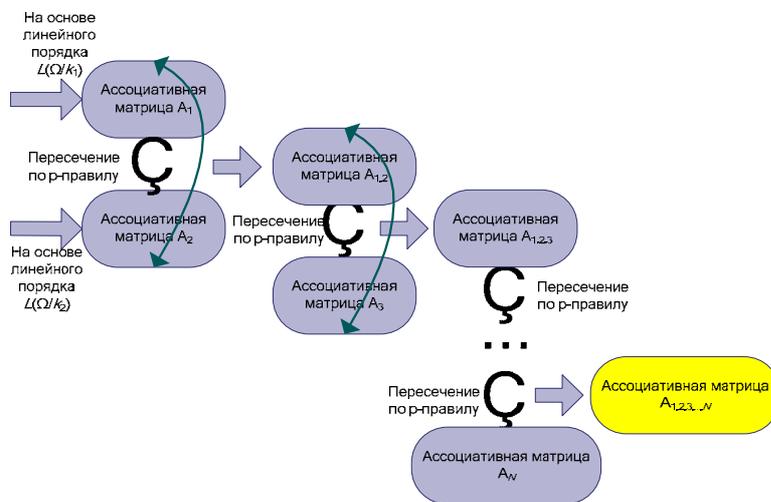


Рис. 4. Пересечение фактор-множеств при применении π -критерия

Таблица 7

Выделение неразличимых по k_1 групп альтернатив

| Альтернативы | $O_i(\Omega/k_1)$ | $O_i(\Omega/k_2)$ |
|--------------|--|--|
| ω_1 | $\underline{\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6}$ | ω_2, ω_4 |
| ω_2 | $\underline{\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6}$ | ω_1, ω_4 |
| ω_3 | ω_5 | $\omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_6$ |
| ω_4 | $\omega_3, \omega_5, \underline{\omega_6}$ | \emptyset |
| ω_5 | \emptyset | $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6$ |
| ω_6 | $\omega_3, \underline{\omega_4}, \omega_5$ | $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ |

Следовательно, неразличимость по k_1 в отношении $\{\omega_4, \omega_6\}$ устранена. Повторяя все вышеизложенное для альтернатив $\{\omega_1, \omega_2\}$ получаем

$$O_1^H(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle) = (O_1(\Omega/k_1) \cap O_2(\Omega/k_1)) \cup (O_1(\Omega/k_1) \cap O_1(\Omega/k_2)) = (\{\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\} \cap \{\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\}) \cup (\{\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\} \cap \{\omega_2, \omega_4\}) = \{\omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\} \cup \{\omega_2, \omega_4\} = \{\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\},$$

$$O_2^H(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle) = (O_2(\Omega/k_1) \cap O_1(\Omega/k_1)) \cup (O_2(\Omega/k_1) \cap O_2(\Omega/k_2)) = (\{\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\} \cap \{\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\}) \cup (\{\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\} \cap \{\omega_1, \omega_4\}) = \{\omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\} \cup \{\omega_1, \omega_4\} = \{\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\}.$$

Неразличимость не раскрыта. Остальной порядок неопределенностей не содержит, следовательно, остальные окрестности фактор-множества $\Phi^T_{\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle}$, строго равны окрестностям фактор-множества Φ^T_{Ω/k_1} (см. выражение (7), (8)). Таким образом, согласно (8), фактор-множество

$$\Phi^T_{\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle} = \{O_1(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle), O_2(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle), O_3(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle), O_4(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle), O_5(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle), O_6(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle)\}.$$

В табл. 8 сведены все окрестности фактор-множества $\Phi^T_{\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle}$ для вариантов $\{\omega_i\}, i = \{1, 6\}$.

Квазилинейный порядок, соответствующий этому фактор-множеству, следующий:

$$L(\Omega/\{k_1, k_2\}) = \langle \omega_5, \omega_3, \omega_4, \omega_6, \{\omega_1, \omega_2\} \rangle \quad (9)$$

Теперь решим эту же самую задачу классическим способом, описанным, в [1]. Линейный порядок $L(\Omega/k_1)$ задан в (1). Раскрываем неопределенности с помощью показателя качества k_2 . Альтернативы ω_1, ω_2 по данному показателю, неразличимы, поэтому эту неопределенность раскрыть не удастся. Альтернатива ω_4 стоит левее ω_6 , следовательно $\{\omega_4, \omega_6\}$ раскрывается в $\langle \omega_4, \omega_6 \rangle$. Тогда квазилинейный порядок для двух ПК в приоритете $\langle k_1, k_2 \rangle$ можно представить в виде

$$L(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle) = \langle \omega_5, \omega_3, \omega_4, \omega_6, \{\omega_1, \omega_2\} \rangle \quad (10)$$

Таблица 8

Представление фактор-множества $\Phi^T_{\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle}$

| ω_i | $O_i(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle)$ |
|------------|--|
| ω_1 | $\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ |
| ω_2 | $\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ |
| ω_3 | ω_5 |
| ω_4 | ω_3, ω_5 |
| ω_5 | \emptyset |
| ω_6 | $\omega_3, \omega_4, \omega_5$ |

Сравнивая (9) и (10) убеждаемся, что частичные порядки идентичны, следовательно, пересечение фактор-множеств по L -правилу дает верный результат, а значит, утверждение 1 можно считать верным.

Автоматизацию описанных процедур наиболее эффективно проводить в ассоциативной модели данных. В бинарном представлении, пересечение фактор-множеств Φ^T_{Ω/k_1} и Φ^T_{Ω/k_2} реализуется через поэлементное пересечение ассоциативных матриц A_1 и A_2 соответственно. Так как, неразличимые варианты $\{\omega_{i-1}, \omega_i\}$ характеризуются значениями "1", стоящими симметрично, относительно главной диагонали матрицы (табл. 6), то элементы матрицы A_{12} фактор-множества $\Phi^T_{\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle}$ можно определить как

$$a_{ij} = \begin{cases} a_{ij}^1, & \text{если } a_{ij}^1 \neq a_{ji}^1 \neq 1, \\ a_{ij}^1 \cap a_{ij}^2, & \text{если } a_{ij}^1 = a_{ji}^1 = 1, \end{cases} \quad (11)$$

где a_{ij}^1 – элемент ассоциативной матрицы A_1 фактор-множества Φ^T_{Ω/k_1} , a_{ij}^2 – элемент ассоциативной матрицы A_2 фактор-множества Φ^T_{Ω/k_2} , a_{ij} – элемент ассоциативной матрицы A_{12} фактор-множества $\Phi^T_{\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle}$.

Из выражения (11) видно, что процесс формирования пересечения по L -правилу, в бинарном виде проще, т.к. требует значительно меньше операторов.

Проиллюстрируем полученное правило примером. Пусть линейные порядки заданы (1) и требуется решить задачу выбора в постановке $L(\Omega/\langle k_1, k_2 \rangle)$. Ассоциативные матрицы фактор-множеств порядков $L(\Omega/k_1)$, $L(\Omega/k_2)$ показаны в табл. 9 и 10 соответственно. В табл. 9 цветом выделены элементы, соответствующие неразличимым вариантам по k_1 .

Таблица 9

Ассоциативная матрица фактор-множества Φ^T_{Ω/k_1}

| Окрестности/Альтернативы | $O_1(\omega_i)$ | $O_2(\omega_i)$ | $O_3(\omega_i)$ | $O_4(\omega_i)$ | $O_5(\omega_i)$ | $O_6(\omega_i)$ |
|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ω_1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ω_2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ω_3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| ω_4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ω_5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| ω_6 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |

Таблица 10

Ассоциативная матрица фактор-множества Φ_{Ω}^T / k_2

| Окрестности \ Альтернативы | $O_1(\omega_i)$ | $O_2(\omega_i)$ | $O_3(\omega_i)$ | $O_4(\omega_i)$ | $O_5(\omega_i)$ | $O_6(\omega_i)$ |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ω_1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| ω_2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| ω_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| ω_4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| ω_5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ω_6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

$$a_{21}^{рез} = a_{21}^1 \cap a_{21}^2 = 1 \cap 1 = 1,$$

$$a_{12}^{рез} = a_{12}^1 \cap a_{12}^2 = 1 \cap 1 = 1,$$

$$a_{64}^{рез} = a_{64}^1 \cap a_{64}^2 = 1 \cap 0 = 0,$$

$$a_{46}^{рез} = a_{46}^1 \cap a_{46}^2 = 1 \cap 1 = 1.$$

В результирующую матрицу (табл. 11) подставляются (см. 11) все элементы из табл. 8 кроме тех, что выделены цветом. В этих позициях итоговой матрицы элементы определяются по нижней части выражения (11).

Таблица 11

Ассоциативная матрица фактор-множества $\Phi_{\Omega}^T / \langle k_1, k_2 \rangle$

| Окрестности \ Альтернативы | $O_1(\omega_i)$ | $O_2(\omega_i)$ | $O_3(\omega_i)$ | $O_4(\omega_i)$ | $O_5(\omega_i)$ | $O_6(\omega_i)$ |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ω_1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ω_2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ω_3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| ω_4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ω_5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| ω_6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

УДК 004.92

А. В. Петрухин, А. В. Золотарев

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ И АНАЛИЗА 3D МОДЕЛЕЙ
В ЗАДАЧАХ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

Волгоградский государственный технический университет (alw@t-k.ru, olorint@gmail.com)

Автоматизация процедур построения трехмерных моделей, при проведении медицинской диагностики, позволяет не только создавать анатомически верное представление результатов предварительной диагностики пациента, но и существенно расширить список применяемых методов диагностирования.

Ключевые слова: 3D моделирование, поверхностные модели, методы предикат-корректора.

A. V. Petrukhin, A. V. Zolotarev

**CONSTRUCTION AND ANALYSIS AUTOMATION 3D MODELS IN PROBLEMS
OF MEDICAL DIAGNOSTICS**

Automation of procedures of three-dimensional models construction, at carrying out of medical diagnostics, allows not only to create true anatomic representation of results of preliminary diagnostics of the patient, but also it is essential to expand the list of applied methods of diagnosing.

3d modeling, surface model, method of predicate corrector.

В качестве основных источников данных в косметической ортопедии является результаты томограммы. Томограмма представляет собой набор двумерных снимков, представляющих собой послойное изображение выбранного участка тела человека. Современное программ-

Квазилинейный порядок, соответствующий данной матрице результирующего фактор-множества, выглядит, как и полученный ранее в реляционных структурах (10):

$$L(\Omega / \{k_1, k_2\}) = \langle \omega_5, \omega_3, \omega_4, \omega_6, \{\omega_1, \omega_2\} \rangle \quad (11)$$

Выводы

В работе рассмотрены методы упорядочивания однородных вариантов в случае применения как безусловных (π -критериев), так и условных неметрических L -критериев, а также показана их реализация для автоматизированных систем. Приведены выражения, для формирования квазилинейных порядков с помощью фактор-множеств в реляционных и ассоциативных структурах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кандырин Ю. В. Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР. Учебное пособие для вузов. М.: Издательство МЭИ, 2004 г. – 172 с.
2. Кандырин Ю. В., Кошелев А. М. Алгоритмы установления приоритетов объектов по техническим показателям в целях назначения оптимальной очередности их ремонтов. М.: Издательство Машиностроение, журнал "Вестник информационных и компьютерных технологий", № 7, 2006.
3. Кандырин Ю. В. Принципы построения информационных систем для автоматизированного многокритериального выбора. – М.: Журнал "Радиотехника", 1999 г. № 5. – С. 32–37.

ное обеспечение позволяет проводить еще один вид реконструкции данных. Отдельные слои последовательно накладываются друг на друга, таким образом, что бы их поверхности напоминали неповрежденный участок тела. Эту функцию называют функцией трехмерной визуализации [1].

Как правило, производят визуализацию патологических областей, например, травм, опухолей, и врожденных дефектов. Трехмерное изображение часто используется в ортопедическом и восстановительном хирургическом лечении. В настоящее время существует большое количество различных методов восстановления поверхностной модели тела на основе сечений. Необходимо определить какой из методов наиболее точно подходит для задач косметической ортопедии.

Качество работы методов будем оценивать на основе времени работы, количества треугольников поверхности, а так же качества треугольников. Для пояснения этого критерия необходимо ввести некий термин – <мера правильности треугольника>. Это есть отношение меньшей стороны треугольника к большей стороне. Таким образом, мера правильности треугольника может принимать значения от нуля до единицы (для равностороннего треугольника, иначе называемого правильным). Чем <компактнее> треугольник – тем правильнее освещение. Если учесть тот факт, что большое количество треугольников невыгодно, то получается, что <идеальный> треугольник – тот, у которого максимальная площадь и минимальный периметр. Это равносторонний треугольник. Таким образом, мера правильности треугольника обуславливает корректность освещения.

Рассмотрим основные типы методов применяемых для восстановления поверхностной модели [2].

В ячеечных методах (cell-based) происходит разбиение области триангуляции на ячейки – параллелепипеда или треугольные пирамиды. Далее производится триангуляция поверхности в каждой ячейке отдельно. Причем каждая ячейка триангулируется одним из заданных ранее способов, т. е. значения координат для треугольников просто подставляются из заранее заданной таблицы.

Для применения методов этого типа необходимо задать допустимую ошибку аппроксимации, на основе которой выбрать размер ячейки – куба или тетраэдра (если быть точным – то треугольной пирамиды, т. к. тетраэдрами нельзя замостить пространство без пропусков и наложений.) После этого с помощью уже известных таблиц триангуляции получить искомое множество треугольников. При этом процедура триангуляции каждой ячейки сводится к анализу значений функции в вершинах этой ячейки – другими словами, определяется, какие вершины лежат внутри поверхности, а какие – снару-

жи. На основе этого можно сделать вывод о достаточности определения функции только в вершинах ячеек.

Метод предиктора-корректора (*predictor-corrector*) основаны на добавлении к уже имеющемуся множеству точек триангуляции еще одной, лежащей на касательной плоскости к заданной функции (это положение предиктора (*predictor*) – предсказанное) и затем передвижению ее до визуализируемой поверхности (это положение корректора (*corrector*) – скорректированное) [2].

При использовании методов из этого класса, необходимо знать значение функции во всех точках пространства и найти хотя бы одну точку, принадлежащую искомой поверхности. Метод заключается в наращивании треугольников – на каждой итерации метода к уже существующему множеству треугольников добавляется еще один, построенный на ребре крайнего треугольника и предсказанной (а затем скорректированной по кривизне поверхности) точки на поверхности.

Суть Мозаичные методы (*pre-tessellation methods & particle-based methods*) заключается в разбиении искомой поверхности на части дальнейшей их триангуляции. Разбиение на части в *pre-tessellation* методах подразумевает разбиение поверхности на примитивные поверхности – фрагменты сфер и плоскостей. Разбиение на части в методах из плеяды *particle-based* – менее интеллектуально – ищутся только фрагменты плоскостей. При этом возникает проблема соединения уже протриангулированных частей. Чаще всего этот процесс сводится к подбору локальных по Делоне треугольников, соединяющих части искомой поверхности [2].

Определение: треугольник локален по Делоне, если его самая маленькая сфера ограничения не содержит никакую другую точку триангуляции, которая имеет ту же самую поверхностную ориентацию [2].

Сравнительный анализ методов показал, что не один из методов идеально не подходит для восстановления поверхности в томографии. Однако методы предиктор-корректора позволяют создать поверхность с минимальным количеством полигонов. Так как поверхность создается однократно, а визуализируется многократно, то наиболее важным является критерий качества модели, а не скорости создания.

Одним из наиболее качественных методов триангуляции является метод триангуляции Делоне. Он позволяет получить набор полигонов аппроксимирующих поверхность, заданную точками. Но триангуляции Делона может

применяться только к поверхностям, которые не имеют слияния проекций точек. Т. е. никакие две точки поверхности не проецируются на поверхность в одну точку. К этому виду относятся все выпуклые поверхности.

Кости голени не являются выпуклыми поверхностями. Они являются замкнутыми поверхностями. В модели кости голени можно выделить два различных типа областей: области суставов и области тела. На рис. 1 модель голени разбита прямыми a и b на 3 области.

Области кости лежащие выше плоскости a и ниже плоскости b являются выпуклыми областями сустава и удовлетворяют критериям применимости метода Делоне. Область лежащая между плоскостями a и b является замкнутой областью, и может быть аппроксимирована телом вращения – цилиндром.

Для того чтобы определить цилиндр необходимо вычислить его высоту, радиус основания, а так же координаты центра нижнего основания.

Высота цилиндра равна расстоянию между плоскостями a и b .

Для определения координат центра используем формулу геометрического центра точек.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, y = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}, z = \frac{\sum_{i=1}^N z_i}{N}, \quad (1)$$

где N – число точек принадлежащих модели.

Используя координаты x и y центра модели вычислим максимальное расстояние от проекции центра модели на выбранный слой до всех точек модели, принадлежащих данному слою.

Радиус цилиндра будет максимальным значением среди радиусов для каждого слоя.

После того как модель кости была аппроксимирована цилиндром, спроецируем точки тела на боковую поверхность цилиндра, после чего развернем поверхность в плоскость. Определим новые координаты точек, как координаты проекции точки на развернутую поверхность цилиндра.

Начало координаты x' определяется проекций точки $O(0,0)$ на поверхность цилиндра. Рассмотрим вычисления координаты (x', y') на основе координаты проецируемой точки (x_i, y_i) и координаты проекции центра тела (x, y) .

Пусть точка тела имеет координату $A(x, y, z)$, центр фигуры имеет координаты $O_\phi(x_\phi, y_\phi)$ необходимо вычислить координаты x', y' (см. рис. 2).

Координаты точки проекции A' рассчитываются на основе коэффициента пропорциональности отрезков $A'O_\phi$ и AO_ϕ (см. рис. 3).

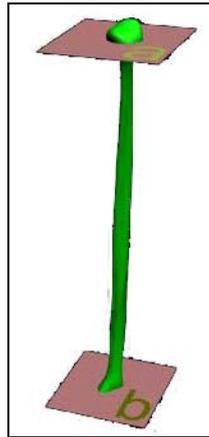


Рис. 1. Модель кости голени (fibula)

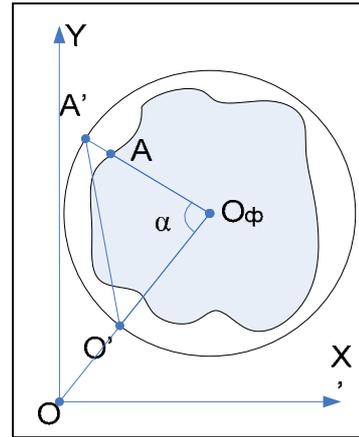


Рис. 2. Пример расчета новых координат точек

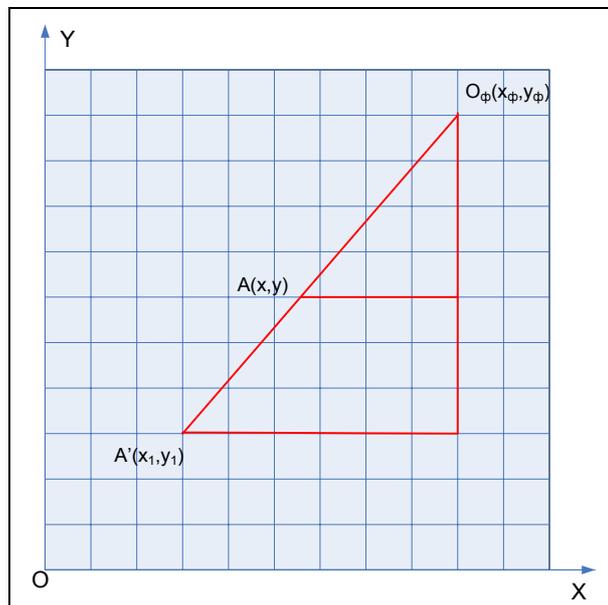


Рис. 3. Расчет координат точек проекции

Значение новой координаты x' равно длине дуги $O'A'$.

$$O'A' = r * \alpha. \quad (2)$$

Величину угла α можно рассчитать используя теорему косинусов для треугольника $A'O_\phi O'$. При этом необходимо учесть, что угол по теореме косинусов может изменяться в пределах от 0 до π . А реальное значение может изменяться в пределах от 0 до 2π . Если точка A' лежит выше прямой OO_ϕ , то значение угла α надо увеличить на величину π .

Таким образом, новые координаты точки A' на развернутой поверхности цилиндра будут вычисляться по формуле:

$$x' = \left(\frac{x - x_\phi}{c} * r + x_\phi \right) * \alpha. \quad (3)$$

После этого можно производить триангуляцию набора точек. Для восстановления поверхности

сти тела производится обратное преобразование множества точек [3]. Полученная трехмерная модель может быть использована для дополнительного диагностирования пациента [4].

Существует ряд методов анализа полученной модели. Среди них можно выделить несколько, наиболее часто используемых методов [5].

Процесс использования данных изображения, для создания изображения новых срезов, называют реконструкцией. Основным условием реконструкции является то, что все томографии должны иметь одинаковую форму, толщину, что бы облегчить получение нового слоя. Также слои должны иметь одинаковое положение центра изображения, идентичную форму изображения, являться последовательными слоями. Для реконструкции изображения необходимо использовать все слои. Так как размеры ячейки изображения очень малы, необходимо очень точно выстроить слои, иначе качество изображения резко ухудшится.

Измерение Хоунсфилда – один из самых ценных инструментов в диагностике томограмм. Курсор, помещенный в область, прочитывает значение для этой области. Измерение происходит только для пикселя покрытого курсором. Если размесить область интереса (ОИ), то будет вычислено среднее значение Хоунсфилда для этой области. Если ОИ точно размещена в пределах области подозреваемого повреждения, усредненная ценность вероятно более точна, чем чтение единственного пикселя. Измерение курсором эффективно, когда используется быстрый метод оценки плотности определенной структуры на изображении. Размеры ОИ должны использоваться всякий раз, когда значения Хоунсфилда будут рассматривать в формулировке диагноза. Когда область используется, в дополнение к усредненному значению пикселей в пределах ОИ, вычисляет-

ся стандартное отклонения. Это число указывает отклонение числа КТ в пределах ОИ.

Проведенный анализ показывает, что методы восстановления трехмерной модели нижних конечностей пациента и ее дальнейшего анализа являются одними из основных методов диагностирования в косметической ортопедии [6]. Переход к трехмерной модели позволяет не только анатомически верное представление результатов томографии, но и существенно расширить список применяемых методов диагностирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воробьев А. А., Петрухин А. В., Егин М. Е., Поройский С. В., Баринов А. С., Золотарев А. В. Новый программный продукт в индивидуальном компьютерном моделировании // Бюллетень Волгоградского научного центра РАМН и Администрации Волгоградской области. – 2006. – № 2. – С. 11–12.
2. Семенухин А. Сравнительный анализ методов интерактивной триангуляции сеточных функций [Электронный ресурс] URL <http://cgm.graphicon.ru>.
3. Скворцов А. В. Обзор алгоритмов построения триангуляции Делоне // Вычислительные методы и программирование. 2002. – Т. 3.
4. Воробьев А. А., Петрухин А. В., Егин М. Е., Поройский С. В., Баринов А. С., Золотарев А. В. Трехмерная векторная модель коленного сустава при различной патологии // Бюллетень Волгоградского научного центра РАМН и Администрации Волгоградской области. – 2006. – № 2. – С. 8.
5. Петрухин А. В., Воробьев А. А., Золотарев А. В. Автоматизация процесса анализа компьютерных томограмм // Прогрессивные технологии в обучении и производстве: матер. IV Всерос. Конф., г. Камышин, 18-20 октября 2006 г. / КТИ(филиал) ВолгГТУ и др. – 2006. – Т. 2. – С. 159–160.
6. Воробьев А. А., Петрухин А. В., Егин М. Е., Поройский С. В., Баринов А. С., Золотарев А. В. Индивидуальное компьютерное моделирование голени с помощью современных методов диагностики для нужд ортопедической косметологии // Бюллетень Волгоградского научного центра РАМН и Администрации Волгоградской области. – 2006. – № 2. – С. 12–13.

УДК 004.942

М. В. Резников, А. С. Горобцов

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИНТЕГРАЦИИ CAD-CAE СИСТЕМ

Волгоградский государственный технический университет (stargalaxi@rambler.ru, gorobtsov@avtfg.ru)

В данной статье проведен анализ существующих методов интеграции CAD и CAE систем. Обоснована необходимость создания нового метода интеграции. Дано описание созданного метода. Также в статье показаны результаты работы созданного модуля, предназначенного для работы с геометрией машиностроительных объектов.

Ключевые слова: CAE, CAD, Твердотельная динамика, Многотельные системы, Математическое моделирование.

M. V. Reznikov, A. S. Gorobtsov

WORKING OUT OF THE METHOD OF CAD AND CAE SYSTEM INTEGRATION

In the current article the analysis of the existing methods of integration of CAD and CAE systems is carried out. The necessity of the creation of a new method of integration is proved. The description of the created method is given. Also in the current article the results of work of the created module intended for working with the geometry of machine-building objects are presented.

CAE, CAD, Rigid Bodies Dynamics, Multibody Systems, Mathematical modeling.

Современный рынок машиностроения предъявляет все более жесткие требования к срокам

и стоимости проектных работ. Проведение конструкторских работ, нацеленных на создание

качественной, конкурентоспособной продукции, связано с подготовкой точных математических моделей узлов и агрегатов, а также с выполнением огромного объема математических расчетов, необходимых для инженерного анализа конструкций. Основной путь повышения конкурентоспособности предприятия связан с резким сокращением сроков создания моделей и ускорением расчетов математических параметров на всех этапах разработки продукции. Поэтому применение высокопроизводительных систем автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа (CAE/CAD/CAM-систем) стало ключевым элементом бизнеса предприятия, работающего на современном рынке машиностроения.

К середине 80-х годов было создано большое количество различных CAD-систем. Но при этом возникла проблема их интеграции (интегративная проблема), так как проектирование машин вначале происходит в CAD-системе, а затем следует инженерный анализ разработанного механизма в CAE-системе [1]. Эта проблема является актуальной, так как требует для своего разрешения большое количество времени. Для решения этой проблемы необходима разработка методов и механизмов процессов преобразования геометрических моделей, применяемых в CAD-системах, в расчетные схемы, используемые в CAE-системах.

В настоящее время для интеграции CAD-CAE систем используют следующие методы:
 интеграция на основе сквозных САПР;
 интеграция на основе PLM-систем(Product Lifecycle Management);

интеграция с помощью интерфейсов взаимодействия.

Сквозные системы – это всеобъемлющий набор средств для автоматизации процессов и технологической подготовки производства, а также различных объектов промышленности. Системы включают в себя полный набор промышленно адаптированных и доказавших свою эффективность программных модулей, функционально охватывающих анализ и создание чертежей, подготовку производства на всех этапах, а также обеспечивающих высокую функциональную гибкость всего цикла производства [2]. Схема взаимодействия в сквозных САПР представлена на рис. 1.

Под PLM обычно понимают цепочку CAD/CAM/CAE/PDM(Product Data Management) [3]. В их состав входят многофункциональные и специализированные модули или приложения, решающие узкие задачи конкретных отраслей промышленности более полно, нежели универсальные средства проектирова-

ния. Обычно это собственные разработки, тогда как представители "среднего класса" широко используют приложения сторонних разработчиков. В них есть большой набор инструментов для интеграции с программными средствами, используемыми на предприятиях. Как с конкурентными разработками CAD, CAM, CAE, PDM, так и с ERP(Enterprise Resource Planning), CRM (Customer Relationship Management) и другими системами. Кроме того, в системах высшего класса имеется мощная PDM-система с функциями серьезного технического документооборота, поскольку наличия лишь функций электронного архива недостаточно для притязаний на решение класса Hi-end [3]. И замыкает список необходимых атрибутов PLM-решения высшего класса система моделирования, основанная на гибридном ядре геометрического моделирования, так как многие задачи не всегда выполнимы с помощью твердотельного моделирования [3]. На рис. 2 представлена схема интеграции на основе PLM-систем.

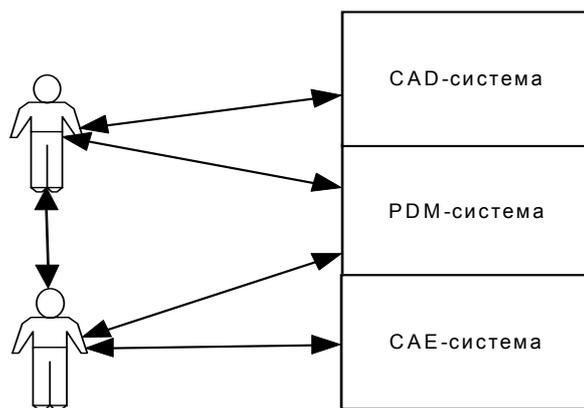


Рис. 1. Интеграция на основе сквозных САПР

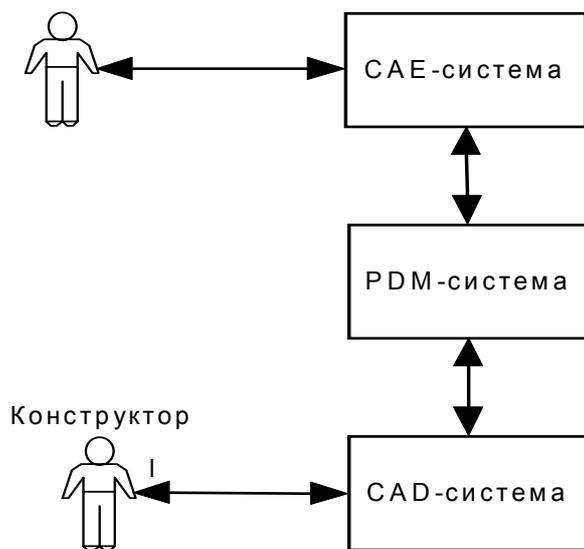


Рис. 2. Схема интеграции при помощи PLM-систем

Различные CAD/CAM/CAE-системы хранят данные о технических структурах разного вида, поэтому для переноса данных необходимо передать данные технических требований одной системы в формат другой [2]. Этот способ взаимодействия называется интеграцией при помощи интерфейсов взаимодействия.

В табл. 1 представлены результаты анализа способов обмена данными. Из него следует, что лучшим способом обмена в рамках текущей задачи является использование интерфейсов взаимодействия.

Из приведенного анализа видно, что для интеграции данных удобнее всего использовать интерфейсы взаимодействия.

Существует два способа реализации интерфейсов взаимодействия: интеграция при помощи косвенных интерфейсов и интеграция при помощи прямых интерфейсов. Анализ реализации вариантов интерфейсов взаимодействия представлен в табл. 2.

По результатам анализа для разработки механизма интеграции CAD и CAE систем был выбран интерфейс взаимодействия с использованием нейтрального файла.

Таблица 1

Анализ способов интеграции CAD/CAE системах

| | PLM-системы | Сквозные САПР | Интерфейсы взаимодействия |
|---|--|--|--|
| + | | | Автономны от человека Простая реализация Большая скорость преобразования |
| - | Зависимы от человека Сложная реализация Скорость преобразования невелика | Зависимы от человека Сложная реализация Скорость преобразования невелика | |

Таблица 2

Анализ интерфейсов CAD/CAE систем

| | Прямые интерфейсы | Косвенные интерфейсы |
|---|--|---|
| + | Большая скорость преобразования. Большая точность преобразования. | Для интеграция нужно написать всего один интерфейс для импорта из нейтрального файла. |
| - | Необходимо для каждой CAD-системы писать отдельный интерфейс. | Небольшая скорость преобразования. Небольшая точность преобразования. |

Выделены этапы создания твердотельной инженерной модели, которые подлежат автоматизации:

преобразование геометрии из нейтрального файла в промежуточный формат (импорт детали или составной модели);

дополнение составной модели кинематическими парами и нагрузками (с помощью сценария преобразования);

подбор оптимальных параметров кинематических пар (с помощью сценария преобразования);
экспорт модели в CAE-систему.

Для автоматизации этих этапов были разработаны способы передачи данных и генерации CAE-моделей. Для организации передачи данных были разработаны механизмы импорта деталей в CAE-систему, импорта сборочных моделей в CAE-систему и концепция управляемого интерфейса для импорта сборочных моделей машин. В качестве нейтрального файла были использованы файлы формата IGES, поскольку файлы этого формата поддерживаются большинством современных коммерческих САПР [2].

Для импорта детали из файла IGES необходимо считать данные о начале секций, по которым распределена информация геометрических примитивах. Чтобы произвести преобразование детали необходимо, провести преобразование всех геометрических примитивов входящих в состав детали. В данном случае можно ограничиться преобразованием каркаса модели. Для импорта сборочных моделей необходимо провести преобразование субфигур, содержащихся сборочном файле IGES. Эти субфигуры представляют собой набор геометрических примитивов, объединенных общей матрицей поворота и вектором смещения.

Для импорта сборочных моделей машин была разработана концепция управляемого интерфейса, включающая следующие принципы:

1) положение детали в сборки определяет ее назначение;

2) для преобразования различных моделей машиностроительных объектов применяются собственные правила (общие для одного типа машин);

3) набор правил преобразования для каждого типа машиностроительных объектов объединен в сценарий.

Для преобразования данных был разработана структура для хранения данных о сборке

деталей. Она реализована в промежуточный формат для хранения данных в автоматизированной системе управляемого импорта. В реализованной версии системы разработанная структура используется для хранения данных в памяти компьютера. Однако возможно использовать разработанный формат для хранения данных в распределенной базе данных, Это позволит разрешить существующую сегодня проблему организации сетевой работы конструкторского бюро.

Разработанная концепция интеграции CAD-CAE систем была реализована в автоматизированной системе управляемого импорта и апро-

бирована для передачи данных из системы SolidEdge v15.0 в систему твердотельного моделирования ФРУНД [5]. Исходная и преобразованная модели показаны на рис. 3 и 4.

Разработанные механизмы позволяют автоматизировать процесс создания математических моделей (CAE-моделей) на основе геометрических (CAD-моделей). Метод позволяет импортировать CAD- модели в различные CAE-системы твердотельного моделирования (T-Flex, UM). Автоматизированную систему управляемого импорта также можно использовать для работы со сборками в CAD-системах геометрического моделирования.

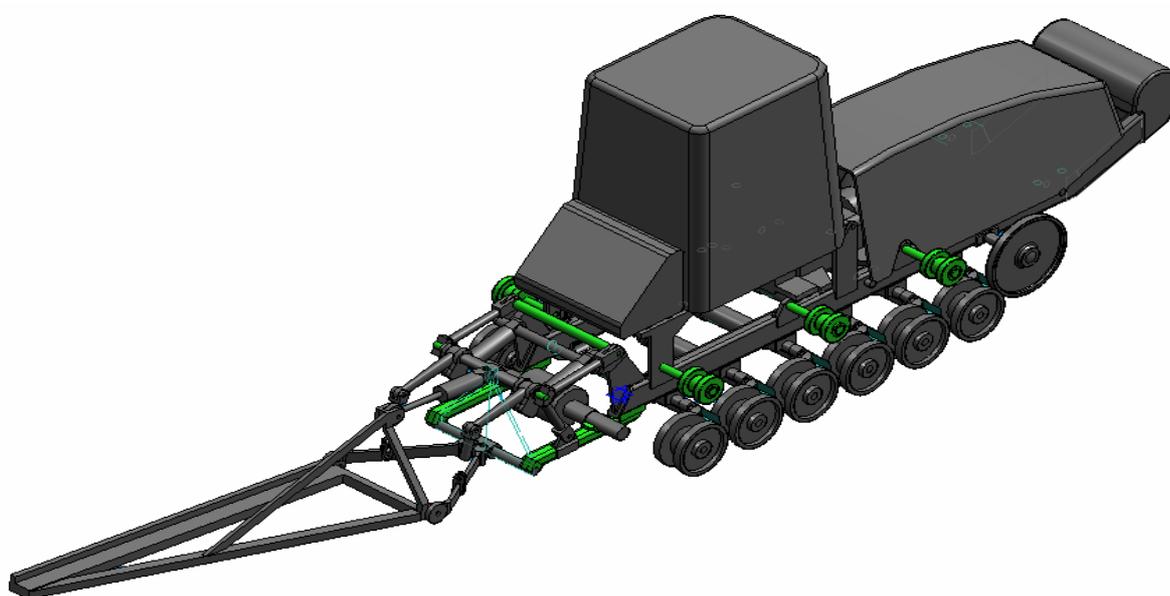


Рис. 3. Модель трактора ВТ-300 в среде SolidEdge v15.0

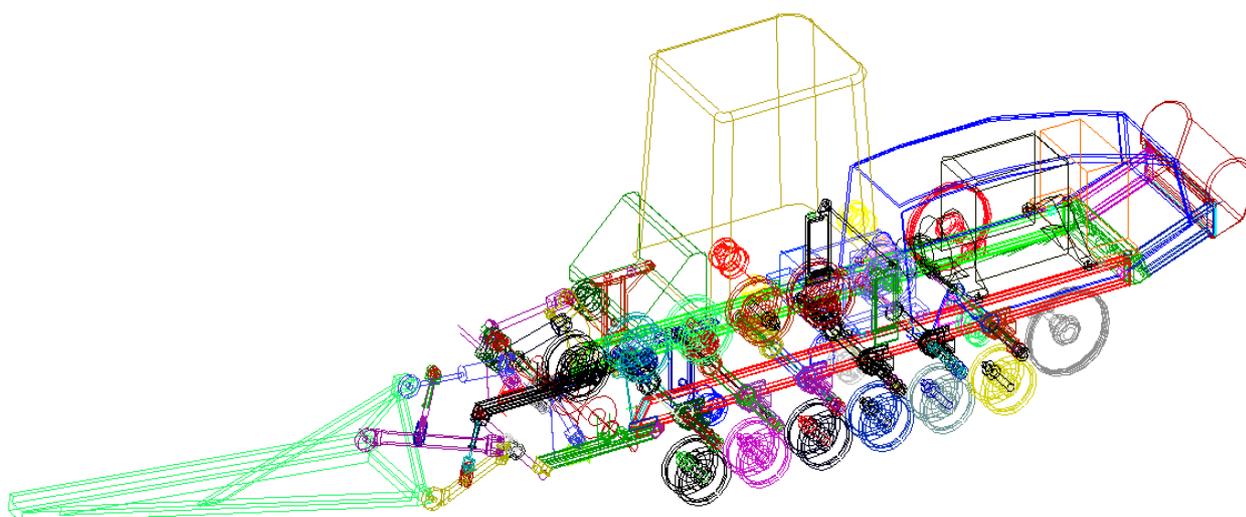


Рис. 4. Модель трактора ВТ-300 импортированная во ФРУНД

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зубинский, А. В.* CAD-тенденции [Электронный ресурс] / А. В. Зубинский. – [2007]. – Режим доступа: <http://itc.ua/16977>.
2. *Ли К.* Основы САПР: пер. с англ. / К. Ли. – М., 2004. – 560 с.
3. Перспективы развития САПР [Электронный ресурс]. – [2007]. – Режим доступа: www.biz.cnews.ru/teviews/index.shtml.2007/05/04.
4. *Goldberg, D. E.* Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning / D. E. Goldberg – NY, 2002. – 396 с.
5. *Горобцов, А. С.* Комплекс ФРУНД – инструмент исследования динамики автомобиля / А. С. Горобцов, С. К. Карцов, Р. П. Кушвид // Автомобильная промышленность: Ежемесячный науч.-техн. журнал. – 2005. № 4. – С. 27–28.

УДК: 004.896, 004.827, 51-7

М. А. Рошин

ПОДХОД ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет (roshchin@gmail.com)

Одним из наиболее эффективных подходов для автоматизации процессов принятия решения в технологии линейки продукции программного обеспечения заключается в применении автоматизированного логического вывода для задач анализа, оценки и генерации моделей, рассматриваемых через призму стандартных задач математической логики. При этом необходимо использовать формальное логическое описание характеристической модели. Системный анализ и взаимодействие с библиотекой компонентов при автоматизированном процессе принятия решения должны осуществляться через семантическое описание свойств и характеристик программных компонентов, которое тоже осуществляется с помощью логического формализма.

Ключевые слова: Логика Описания, Гибридные модели, Линейки продукции, Проектирование программного обеспечения, Характеристическая модель.

М. А. Roshchin

LOGIC-BASED APPROACH FOR SOFTWARE DESIGN

The aim of this work is to present solutions and a methodical support for automated techniques and procedures in domain engineering, in particular for variability modelling. Our approach is based upon Semantic Modelling concepts, for which semantic description, representation patterns and inference mechanisms are defined. Thus, model-driven techniques enriched with logical semantics will allow flexibility and variability in representation means, reasoning power and the required analysis depth for the identification, interpretation and adaptation of artefact properties and qualities.

Description Logics, Hybrid Models, Variability Models, Software Reuse, Product Line Engineering, software Design.

Введение

Современная архитектура программного обеспечения предлагает развернутую и точную модель системы. Методики формирования программной архитектуры предполагают детальный анализ системы перед ее реализацией. Процесс определения архитектуры, компонентов, интерфейсов и других характеристик системы или ее компонентов называется проектированием [2]. Рассматриваемое как процесс, проектирование есть инженерная деятельность в рамках жизненного цикла программного обеспечения, в которой надлежащим образом анализируются требования для создания описания внутренней структуры системы, являющейся основой для конструирования программного обеспечения. Программный дизайн описывает архитектуру желаемого программного обеспечения, т. е. представляет декомпозицию системы в виде организованной структуры компонент и интерфейсов между ними. Высокоуровневый дизайн программной системы, основанный на общепринятых шаблонах и паттернах

программирования; детализированная архитектура, описывающая структуру с помощью заранее подготовленных и протестированных компонентов и фрагментов кода, легко поддаются пониманию и анализу, построению и системной разработке, в отличие от аналогичных монолитных систем. Связующие технологии (middleware) CORBA, COM+, JavaBeans и другие (см. [3]) предлагают такие модели программных компонентов, которые четко соответствуют решению проблемы развития и разработки системы. В результате, переиспользование готовых компонентов приобретает все большую популярность в различных проектах, и детализированное проектирование строится с учетом существующих решений (см. рис. 1). Но, несмотря на повсеместное распространение многочисленных методов и технологий для решения задач многократного использования программного кода, проблема *автоматизации* создания сложных композитных систем из существующих компонентов так и остается нерешенной.

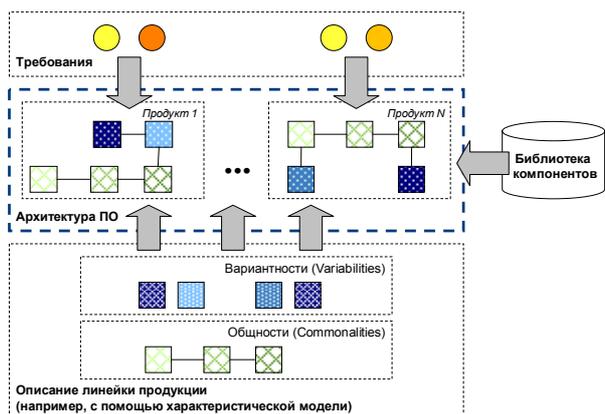


Рис. 1. Процесс проектирования: от требований и описания предметной области к архитектуре

1. Первоначальный этап проектирования

Автоматизация в общем виде представляет собой комплекс технологических, организационных действий и процедур, которые позволяют снизить степень участия человека в осуществлении той или иной функции производственного процесса, процесса управления. Автоматизация первоначального этапа проектирования подразумевает ассистирование в принятии решения при создании архитектуры будущей программной системы с учетом текущих требований заказчика.

Принятие решения в проектировании включает два взаимосвязанных этапа, как показано на рис. 1:

- Анализ текущих требований и принятие решения о конфигурации желаемого продукта с учетом текущего описания предметной области;
- Создание архитектуры программной системы, используя существующие готовые решения в виде компонентов программного обеспечения.

Существует множество различных технологий и методик по поддержке принятия решения при проектировании ПО и переиспользовании компонентов. Например, на сегодняшний день крупные компании разработчики "больших" сложных программных комплексов, такие как SAP, Microsoft, IBM и др., работают над созданием платформ, ориентированных на так называемые технологии "Линейки продукции программного обеспечения" (Software Product Lines) [4] или "Фабрики ПО" (Software Factories) [5]. И тот и другой подходы представляют из себя по сути одно и тоже, и опираются на следующие понятия:

Линейка продукции (product line) – это совокупность дополняющих друг друга продуктов, выпускаемых той или иной фирмой;

- Семейство продукции (system family) – это совокупность общих по назначению, но разли-

чающихся по реализации продуктов, например семейство СУБД, компиляторов и т. д.; (см. [6]).

Актуальность такого подхода очевидна – каждая даже небольшая компания создает программные системы, сходные по функциональности к уже созданным и различающихся в зависимости от своей реализации или версии. Каждая реализация ПО опирается в обязательном порядке на уже существующие решения, знания и документацию, готовые к переиспользованию программные компоненты.

Характеристическая модель. Подход "Линейки продукции ПО" описывает общности (commonalities) и вариантность (variability) используемых характеристик (features) с помощью характеристического моделирования (см. [12]) текущей предметной области (например, используются Feature Models [7] или более выразительные Variability Models [4]). Характеристическая модель (см. рис. 2) определяет линейки и семейства продукции как совокупность всех возможных и необходимых для последующей реализации конечного продукта характеристик и их значений (features), описывая свойства, типы и варианты использования. Помимо функций, эксперт моделирует линейки продукции с помощью нефункциональных характеристик системы, таких как цвет, время реакции и т. п. Каждый вариант при необходимости соединяется с помощью зависимостей (отношения требования и/или исключения) с уже существующими и описанными вариантами.

На рис. 3 показан пример характеристической модели программного обеспечения мобильного телефона (*VP* или *variation point* – обозначает "характеристика", а *V* или *variant* – вариант, функция). Так на этом рисунке определено, что английский и немецкий языки являются обязательными, в то время как корейский язык – факультативный. При выборе корейского языка, программное обеспечение потребует дополнительный драйвер, который не входит в систему по умолчанию. В свою очередь, драйвер корейского языка совместим только с определенной версией операционной системы. В конфигурацию мобильного телефона может входить фотокамера с различными характеристиками: 1.3, 2 и 3 мегапикселя. При условии выбора камеры разрешением 3 мегапикселя, нам понадобится улучшенный кэш, и соответствующий процессор – 416 МГц. Этот процессор совместим только с определенной операционной системой – "5.0".

Реальная характеристическая модель содержит более двух тысяч характеристик, и соответственно более десяти тысяч различных функций / вариантов (листьев на графе).

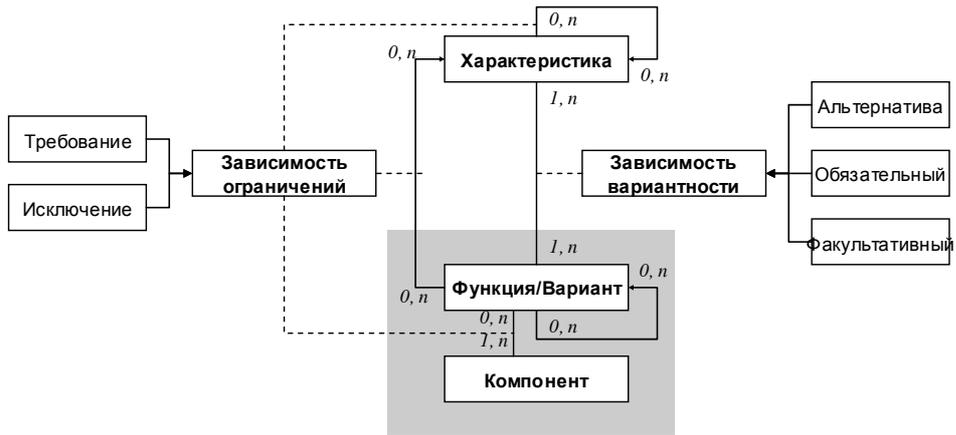


Рис. 2. Метамодел характерического моделирования

Языки операционной системы мобильного телефона представлены 2-мя категориями:

- Обязательные: английский, немецкий;
- Факультативные: корейский.

Выбор корейского языка подразумевает установку драйвера корейского языка, который, по умолчанию, не устанавливается

Существует 3 варианта фотокамер на выбор. Камера на 3 мегапикселя, в отличии от других, будет работать только с усовершенственным кэш-памятью, которая, в свою очередь, работает только на процессоре заданой частоты 416 МГц.

Процессор на 416 МГц совместим только с операционной системой «5.0»

Драйвер корейского языка совместим только с определенной версией операционной системы – «2003».

Операционная система может быть двух вариантов: «2003» и «5.0»

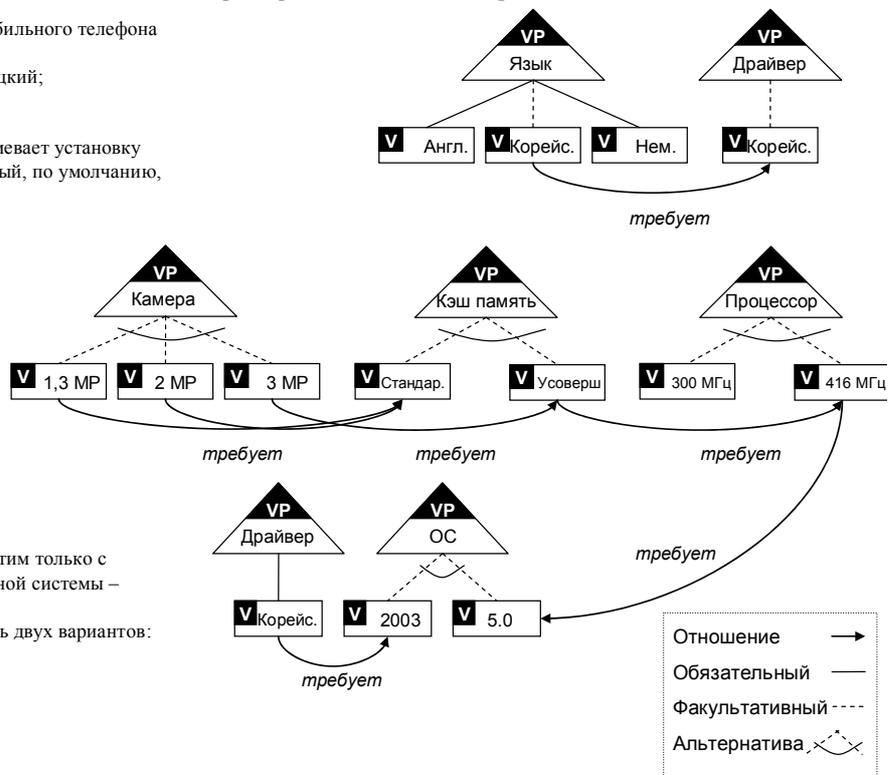


Рис. 3. Пример характерической модели ПО для мобильного телефона

Каждая функция и вариант являются отражением того компонента, который будет использован. Т. е. использование, интерпретирование и анализ характерической модели тесно связаны с соответствующими библиотеками программных компонентов, готовых к повторному использованию в различных системах.

Библиотеки компонентов. На ранних этапах, повторному использованию компонентов придавалось чрезмерное внимание, но подход был слишком упрощенным. Сейчас сферы практического применения и повторного использования, принятые в области технологии системных решений (с соответствующими сред-

ствами и методами поддержки создания ПО), делают повторное использование компонентов и развитие системных решений достаточно эффективными. Проведенный в различных исследованиях анализ (см. [8]) подтверждает, что основной успеха является соответствующее семантическое описание информации о программном компоненте (например, функциональные и нефункциональные свойства компонента, его поведение, временные требования и ограничения, необходимое обслуживание и т. п.).

Выводы. В опубликованном отчете консорциума W3C [13], при участии таких известных ученых как Гради Буч, Алан Ректор и дру-

гих, был сделан вывод, что существование одной характеристической модели той или иной предметной области или линии продукции само по себе не является достаточным. Необходим механизм, позволяющий независимо от реализации системы изменять те или иные параметры модели, проводить автоматизированный анализ и оценку на непротиворечивость модели с учетом внешних условий и различной документации (ГОСТы, стандарты). Изменение всего лишь одного фактора (например, сделать корейский язык языком по умолчанию) означает изменение всей характеристической модели, т. е. более двух тысяч характеристик и десяти тысяч функций. По самым оптимистичным оценкам это занимает более двух месяцев работы пяти специалистов.

Одним из наиболее эффективных подходов для автоматизации процессов принятия решения в технологии линеек продукции программного обеспечения заключается в применении автоматизированного логического вывода для задач анализа, оценки и генерации моделей, рассматриваемых через призму стандартных задач математической логики. При этом необходимо использовать формальное логическое описание характеристической модели. Системный анализ и взаимодействие с библиотекой компонентов при автоматизированном процессе принятия решения должны осуществляться через семантическое описание свойств и характеристик программных компонентов, которое тоже осуществляется с помощью логического формализма.

2. Применение логических методов для автоматизации проектирования ПО

Первоначальный этап проектирования включает анализ и оценку требований, предъявляемых к системе. При построении характеристической модели берутся в расчет возможные в будущем требования к конкретной системе, соответственно, такое планирование является отправной точкой моделирования линеек продукции. Каждый вариант из нашей модели ассоциируется с соответствующим требованием. В [19] указывается на то, что существующие системы САПР, АСУ и методы их построения уделяют внимание прежде всего графическому моделированию информации, решению задач вычислительного характера. Всесторонняя оценка потребительских свойств будущей продукции производится традиционно путем экспертизы готового проекта или отдельно взятых его этапов (узлов). При этом обычно экспертиза проводится за пределами самих систем САПР и АСУ, зачастую без привлечения средств автоматизации. При этом интерпретация существующих описаний, документаций, моделей; анализ и оценка остаются прерогативой человека.

Рис. 4 иллюстрирует ассоциацию выборки трех вариантов характеристики "Язык" (язык интерфейса программной оболочки мобильного телефона). Так варианты "английский" и "немецкий" языки связаны с требованием, что желаемая система должна распространяться на территории Европы. Данные языки уже по умолчанию включены в конфигурацию будущей системы и будут установлены в любом случае.



Рис. 4. Согласование перечня требований и характеристической модели линейки продукции ПО мобильного телефона

"Корейский" же язык является факультативным, и его выбор определяется текущими требованиями, как в частности, на примере приведено маркетинговое требование, что система будет представлена на выставке в Сеуле – что автоматически подразумевает включение корейского языка в соответствующую конфигурацию. Как показано на рис. 4, в дальнейшем система принятия решения должна сделать вывод о включении корейского драйвера и смене операционной системы всего программного обеспечения. До сих пор, специалисты работают лишь с графическим описанием характеристической модели, что, несомненно, облегчает работу по соотношению требований и описания предметной области, но требует очень много времени, внимания и сил, а также последующую проверку. Как уже было замечено, средняя характеристическая модель, состоящая из двух тысяч характеристик, потребует от двух недель до двух месяцев на "ручную" обработку одного изменения.

Формальное описание характеристической модели. Для получения формального описания нашей характеристической модели, мы выбрали логику описания. Наш подход заключается не в замене существующих стандартов моделирования, а в использовании дополнительного формального описания характеристических моделей, с помощью логики. Метамоделю, представленную на рис. 2, описывается с помощью следующих формул:

$$\text{VariationPoint} \subseteq T. \quad (\text{Ф1})$$

$$\text{Variation} \subseteq T \quad (\text{Ф2})$$

$$\text{Variation}_i \text{ AND } \text{VariationPoint}_i = \text{FALSE} \quad (\text{Ф3})$$

$$\text{Variation} \subseteq \exists \text{ belongsTo}(\text{VariationPoint})$$

$$\text{Connection} \subseteq \exists \text{ hasQuality}(\text{ConnectionQuality}) \text{ AND } \exists \text{ callsTo}(\text{NumberType}).$$

Перевод графической модели в формальную не занимает много времени и является линейным. Таким образом, система логического вывода, использующая набор фактов и сведений, состоящих из формального описания текущей линейки продукции (ПО мобильного телефона) и требований к конкретной реализации, определяет условия выборки характеристик и автоматизирует принятие решения относительно текущей конфигурации необходимой системы (см. рис. 4).

Семантическая модель компонентов. Семантическая модель позволяет описывать компоненты, а также интерфейсы, как отдельных компонентов, так и их групп. Данная модель выступает в качестве дополнения к основным стандартным описаниям (IDL, WSDL

и т. п.) и моделям, в том числе и графическим (MSCs, UML), позволяя задать формат и определения тех терминов, значений и их спецификаций, которые используются в процессе моделирования. Семантическая информация может быть представлена на протяжении всех фаз жизненных циклов программных компонентов – от предъявления требований к дизайну и его разработке, до маркетинговых шагов и конкретного внедрения. Даже ту информацию, которая имеет отношение к процессу развития (контроль информации) можно выразить в семантической модели. Для того, чтобы упростить процесс описания и обеспечить адекватность ее содержания, семантика предоставляется на основе шаблонов или метамodelей. Метамоделю определяются соответствующей проектной группой, компанией, предметной областью или типом описываемых компонентов. Когда разряд описания определен, необходимо определить его форму, содержание и семантику понятий, используемых при спецификации. В области системных решений, чтобы выделить наиболее подходящих кандидатов среди компонентов для включения их в разрабатываемые системы используются модели, которые в свою очередь содержат информацию необходимую для интегрирования. Именно семантические модели могут служить средством достижения автоматизации создания и конфигурирования будущей системы, и не только программной [9].

Для описания семантики программных компонентов, моделирования функциональных и нефункциональных свойств, мы используем понятия онтология и аннотация, которые в свою очередь составляют понятие семантическая модель. Семантическая модель (см. рис. 5), первый раз представленная в [11], включает в себя фундаментальные понятия для описания программных компонент относительно задач композиции. Она предоставляет информацию, основанную на уникальной специфике описания той или иной определенной компании, и поэтому предполагает наличие шаблонов и образцов моделирования – метамodelей. В дальнейшем, семантическая модель позволяет адаптацию и интеграцию собственной информации в отдельно взятую систему, составленную из различных компонентов других групп разработчиков, и соответственно, описанных различным образом (принцип гетерогенности).

Семантическая модель состоит из:

- Уровень метамodelи,
- Уровень онтологии и семантики
- Уровень логики и механизмов логического вывода.

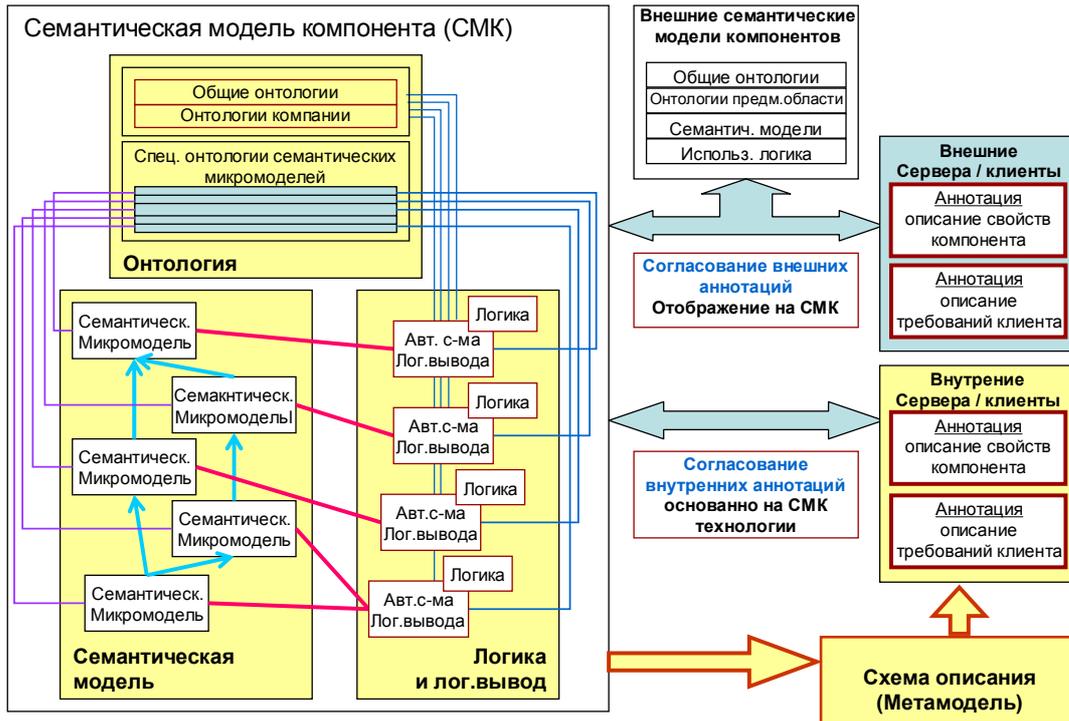


Рис. 5. Семантическая модель компонентов (СМК)

Уровень метамодели: уровень метамодели строится иерархически из множества метамodelей. Каждая метамодель определяет кластер связанных свойств и качеств. Содержание метамодели зависит от области использования (или домена), группы разработчиков, бизнес модели использования данного компонента и т. д. Каждая метамодель будет связана с тем или иным вариантом применения. Соответственно, различные варианты предполагают использование различных формализмов их описания, т. е. тех логических систем для представления знаний. Таким образом, это включает в себя также возможность рассуждать и анализировать используя механизмы логического вывода.

Уровень онтологии: Уровень онтологии используются, чтобы создать общедоступное понимание и определение используемого домена и знаний, всего процесса создания и развития систем. Онтология состоит из:

- общей онтологии, которая может быть представлена любым подходящим множеством общедоступных онтологий, позволяющих описывать независимые знания (например, стандарты протоколов),
- специфичной онтологии (например, для группы разработчиков или данного типа программных компонентов),
- определенные онтологии для каждой микромодели (характерные знания для данного

конкретного компонента, группы компонентов, или определенного аспекта проектирования)

Уровень логики и механизмов логического вывода: Логики и механизмы логического вывода представляет собой набор логик и соответствующих механизмов логического вывода, которые используются различными метамоделями и связанными с ними онтологиями. Таким образом, с каждой метамоделью связана специфическая логика и соответствующий механизм логического вывода. В качестве платформы для формализации знаний, используется логика описания, как наиболее соответствующая задачам представления знаний. В дальнейшем, в зависимости от постановки задач моделирования и проектирования, она может быть расширена с помощью операторов модальной логики (для выражения субъективных знаний) и оператора импликации (для выражения правил и динамических характеристик).

Семантическая модель основывается на принципе "Тройная семантическая модель" и технологии "Логика по требованию" (см. рис. 6).

Тройная семантическая модель подразумевает разбиение модели на три основных уровня: онтология, динамическая аннотация, аннотация, что позволяет описывать динамические характеристики компонентов. Логика по требованию предоставляет гибкую систему выбора логического формализма – от невыразительного до сложного, в зависимости от цели данной описания или спецификации.



Рис. 6. Технология "Логика по требованию" и принцип "Тройная семантическая модель"

Логика по требованию. Семантическое моделирование программных компонентов и сервисов подразумевает многообразие и разнообразие той информации, категорий и типов информации, предметных областей, которые подлежат описанию. Знания могут представлять из себя определения используемых лексики и выражений, правила поведения, вероятностные отношения и временно-зависимые ограничения. Таким образом, кажется, что если взять наиболее выразительный логический формализм, который может описать и формализовать сразу все. Но поступая так, мы подвергаем себя риску, что наша система никогда не даст ответ – математическая сложность логических формализмов и выражений, составленных из них, одна из наиболее острых тем в области математической логики.

Для моделирования онтологий были предложено сразу несколько возможных языков – от простых языков разметки как XML, или RDF(S) [22], позволяющих лишь в общих чертах определить классы и отношения между ними, и заканчивая сложными языками, имеющими под собой логический формализм. Последние позволяют автоматизированный логический вывод, выявление неявно заданных знаний, и тп. Например, существует так называемый язык F-logic [23], основанный на классе фреймовых логик, позволяющий конструировать онтологии с помощью объектно-ориентированных операторов как расширение к логике первого порядка. Наиболее популярным и адекватным формализмом общепринято признана описательная логика с синтаксисом OWL [24]. Описательная логика в каком то смысле является подклассом логики первого порядка, га-

рантирующим получение ответа в логическом выводе. Все перечисленные формализмы предназначены для выражения и описания вполне определенных сущностей и идеально подходят для этого: описательная логика описывает классы и их определения, F-logic определяет объекты и правила, модальная логика выражает вероятностные характеристики.

Наш подход семантического моделирования основывается на технологии "Логика по требованию", впервые предложенную в [11]. Идея заключается в следующем: использование определенной логики для решения идеально подходящих для этого задач. Подобное уже давно известно в программировании – когда куски кода написанного на других языках вставляются в листинг программы в виде скриптов, отдельных библиотек и т. п. – так называемое "Поэтапное программирование" (Staging Programming). Таким образом, мы избегаем избыточности, математической сложности и громоздкости описания. Главная цель этой технологии предоставить прагматичное решение в виде адекватного описания, которое демонстрирует необходимость использования того или иного формализма. Описательная логика была выбрана за основу, т. е. остальные формализмы накладываются сверху и используют классы и их представителей, определенных изначально.

Более подробно данная технология рассматривается в [9], а также в примере, представленном ниже.

Тройная семантическая модель. Цель тройной семантической модели предоставить распределенную вычислительную модель для описания программных компонентов и сервисов, и предоставить механизм для разделения различных сущностей, детерминированных в этой модели:

- Уровень онтологий;
- Уровень динамической аннотации;
- Уровень аннотации.

Уровень онтологий предоставляет систему семантического описания в большинстве случаев одной специфичной предметной области для последующего семантического моделирования программных компонентов и сервисов, которые являются представителями текущей предметной области. Онтологии описывают термины и концепты применяемые в той или иной области, и соответственно несут роль стандартизации определений характеристик компонентов и требований к ним.

Одна из основных задач для реализации цели автоматизации на начальном этапе проектирования – автоматизация процесса поиска программных компонентов на основе заданного

запроса. Соответственно выборка той или иной модели будет каждый раз зависеть от той предметной области и ее окружения, к которой относится данное семантическое описание. Поиск компонентов проходит на основе проверки логического запроса – соответствует ли описание выбранным параметрам. Если несколько предметных областей вовлечены в семантическое описание характеристик компонентов (например, ПО Java программирование, и ПО веб сервисов), то механизм сопоставления и сравнения описания предметных областей должен быть включен (более подробно см. [25], [26]).

Так, на примере, показанном на рис. 7, определена необходимая терминология использования в дальнейшем в телекоммуникационной среде. Термин "требование" (Requirement) описывается с помощью типа звонка – самый дешевый, срочный и тп. А термин связь (Connection) – с помощью качества и типа набираемого номера.

Формулы 6 и 7 формально описывают онтологии, представленные на рис. 7, с помощью синтаксиса описательной логики.

$$Requirement \subseteq \exists \text{ specifiedBy}(CallType) . \tag{Ф4}$$

$$Connection \subseteq \exists \text{ hasQuality}(ConnectionQuality) \tag{Ф5}$$

$$AND \exists \text{ callsTo}(NumberType) .$$

Чтобы достичь всеобъемлющего эффекта сравнения характеристик из разных областей, или зависимостей от тех или иных внешних условий, появляется необходимость в определении динамических характеристик компонента, т. е. тех, которые отвечают за поведение, жизненный цикл, и тп. Очевидно, что динамическая модель очень сходна с онтологическим уровнем по степени выразительности, но в отличие от нее отвечает лишь за один конкретный компонент. Онтологии описывают все доменную область, чье поведение не поддается изменениям во времени и пространстве (во всяком случае, это подразумевается). Таким образом, при принятии решения о выборке того или иного компонента, система должна прежде всего получить окончательные результаты его описания (статические), которые, собственно говоря, и представляют из себя модель компонента. Для отделения динамических и статических представлений, мы выделили в отдельный класс описания уровень "Динамическая аннотация".

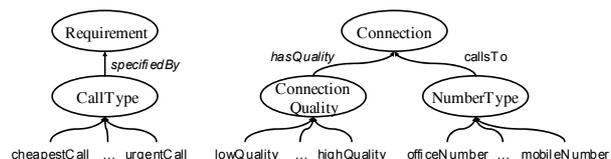


Рис. 7. Онтология требований (лев.) и онтология телефонной связи

Динамическая аннотация. Динамические аннотации выступают посредниками между онтологиями и конкретными моделями компонентов. Варианты поведения, временные характеристики, зависимости от других компонентов, требования ко внешней среде – это неполный список того, что должно содержаться именно там. Формализм используемый в динамических аннотациях также как и онтологии основывается на технологии логики по требованию.

В качестве наиболее часто встречающегося примера, мы рассматриваем нефункциональную характеристику – время задержки в работе программной системы. Время задержки всегда зависит от платформы, операционной системы, а также нагрузки на процессор и оперативную память той среды, в которую помещается выбранный компонент. Аннотация не получит конкретных значений, пока вся информация не будет предоставлена, о чем система проектирования будет оповещена в случае недостаточности сведений в запросе. А на примере

Аннотация. Аннотация – это семантическая микромодель нашего компонента. Находясь в библиотеке семантических моделей, она всегда существует в связке со своей динамической аннотацией и уровнем онтологий. Она может быть пуста, т. е. существует только пустая структура без конкретных значений.

Более подробно принцип тройной семантической модели представлен в [9].

Соответственно, согласно выше сказанному, модель конфигурации требуемой системы производит выборку компонентов из соответствующей библиотеки компонентов как показано на рис. 8.

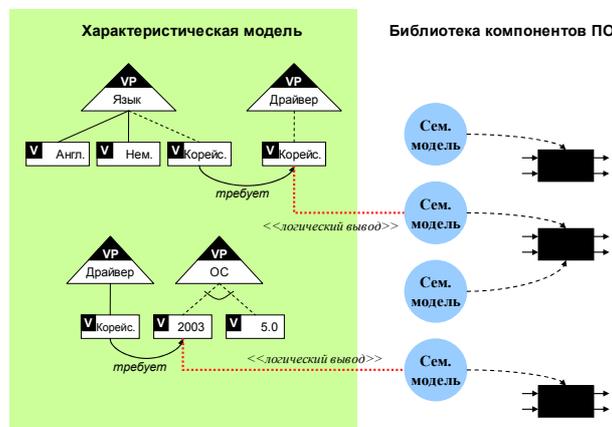


Рис. 8. Связь характеристической модели с библиотекой программных компонентов

Заключение

Использование семантического моделирования, последовательное применение предложенных принципов и подходов в процессе характеристического моделирования линий продукции, разработки отдельных компонентов и проектирования системы в целом позволяет автоматизировать первоначальный этап проектирования, поиск и адаптацию компонентов, интерпретацию и анализ моделей.

Функционально-стоимостной анализ подтверждает эффективность предлагаемых идей крупных и малых компаниях и проектных группах тогда, когда использование технологии линий продукции и характеристической модели оправданно. Лишний раз было подтвержден тезис, заявленный в [13], что характеристическая модель не может существовать сама по себе без поддержки со стороны автоматизированных средств логического вывода.

Предложенный подход подходит для любой технической системы и является независимым от типа проектирования, конструирования и производства. Любой элемент, используемый не один раз, может быть семантически описан с помощью семантической модели компонента и в дальнейшем эта модель внесена в специальную библиотеку, подготовленную для работы с автоматизированными системами логического вывода. Характеристическая модель линии продукции или предметной области идеально подходит для любого технического решения, ставит проект проектирования наравне с формальным определением требований к продукту. Формальная семантика свяжет требования, характеристическую модель и библиотеку компонентов в единое пространство принятия решения. Использование семантических методов моделирования, показанных в этой статье может быть применено для многих сценариев в области синтеза фрагментов технических систем. Соответственно, главная цель нашего проекта будет удовлетворена: автоматизирован процесс проектирования изделия с учетом многократного использования технических компонентов. Это означает, что процесс поиска, адаптации и интеграции проходит незаметно для проектировщика системы.

Процесс семантического моделирования предполагает описание компонентов, основанное на уже готовых моделях и описаниях интерфейса, с точки зрения сложно описываемых свойств и процедур, таких как поведение или

нефункциональные свойства, системные требования или определенные ограничения. Применение логического формализма и описательной логики в частности усиливает моделирование благодаря механизмам, которые содействуют появлению ряда важных новых свойств:

- *Систематизация описания области знаний.* Позволяет разрабатывать онтологии специфических областей знаний и внедрять их в процесс принятия решения.

- *Автоматизированные процедуры.* Автоматизированное принятие решения на основе знаний извлеченных из семантической модели для задач композиции, в частности, для получения адекватного компонента в зависимости от требований и желаемых свойств, которые не поддаются точной спецификации.

- *Интерпретация и адаптация.* Используется для извлечения, использования и реорганизации информации из модели, написанной разными проектными группами или экспертами (например, язык маркетологов и разработчиков).

- *Формальная семантика.* Формализует визуальные модели и автоматизирует процессы проектирования, конструирования и верификации. Включает дополнительную информацию (например, формальное описание дизайнера ПО с помощью UML) в процесс поиска и принятия решения, основанный на онтологиях. Логика обеспечивает автоматизированную конфигурацию компонентов, проверку моделей на непротиворечивость, трансформацию знаний из одной области описания в другую.

Все эти новые качества будут содействовать уменьшению стоимости разработки и внедрения программного обеспечения основанного на компонентах. Примеры применения логического формализма при описании Web-сервисов представлены в [11].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Description Logics. – www.dl.kr.org.
2. Сергей Орлик. Программная инженерия: Проектирование программного обеспечения, 2004–2005, <http://sorlik.blogspot.com>.
3. Herzum P., Sims O. Business Component Factory: A Comprehensive Overview of Component-Based Development for the Enterprise // Wiley Computer Publishing. – 2000.
4. Guenther Boeckle. Product Lines...
5. Jack Greenfield, ... Software Factories...
6. Википедия, www.wikipedia.ru.
7. Czarnecki K., Eisenecker U. W. Generative Programming, Addison-Wesley, 2000.
8. ESI Projects. – <http://www.esi.es/en/Projects/esaps/esaps.html>.

9. Graubmann P., Roshchin M. Semantic Annotation of Software Components. IEEE Proceedings of SEAA 2006
10. Semantic Web Note. – www.w3.org/2001/sw/.
11. Roshchin M., Graubmann P., Pfeuffer E. Web Services Annotation and Reasoning. – <http://www.w3.org/2005/04/FSWS/>.
12. K Pohl, FVD Linden, G Bockle, Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques. Springer, 2005.
13. Ontology Driven Architectures and Potential Uses of the Semantic Web in Systems and Software Engineering, <http://www.w3.org/2001/sw/BestPractices/SE/ODA/>.
14. Racer Systems, <http://www.racer-systems.com/>.
15. SWI-Prolog, www.swi-prolog.org/.
16. KAON 2, <http://kaon2.semanticweb.org/>.
17. Pellet Reasoner, <http://www.mindswap.org/2003/pellet/>.
18. Carsten Lutz, Logic-based Knowledge Representation – Lecture Notes in Computational Logic Programme, TU Dresden, 2003.
19. Барков И. А. Теория конструкторской семантики. Ижевск, 2003.
20. SWRL, <http://www.daml.org/2003/11/swrl/>.
21. Munindar P. Singh, Michael N. Huhns: Service-Oriented Computing: Semantics, Processes, Agents, John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
22. RDF(S), <http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>.
23. F-Logic, http://www.ontoprise.de/content/e5/e190/e191/tutorial_flogic_ger.pdf.
24. OWL, <http://www.w3.org/TR/owl-features/>.
25. Marc Ehrig, York Sure, “Ontology mapping – an integrated approach”, In C. Bussler, J. Davis, D. Fensel, and R. Studer, editors, Proceedings of the First European Semantic Web Symposium, volume 3053 of LNCS, Springer Verlag, Heraklion, Greece, MAY 2004, pp. 76–91.
26. Yannis Kalfoglou, Marc Schorlemmer, “IF-Map: An Ontology-Mapping Method based on Information-Flow Theory” *Journal on Data Semantics I, LNCS 2800*, Springer, 2003, pp. 98–127.

УДК 519.876.5

А. Н. Фищенко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РЕШЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ ШИН

Ярославский государственный технический университет (cad@vstu.ru)

В данной работе разработана математическая модель процесса вулканизации шины в пресс-форме, для решения основного нелинейного уравнения теплопроводности и модели кинетики вулканизации которой используется метод конечных элементов.

Ключевые слова: математическая модель вулканизации шин, метод конечных элементов, кинетическая модель.

A. N. Fishchenkov

USE OF A METHOD OF FINAL ELEMENTS AT THE DECISION OF MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS OF VULCANIZATION OF TRUNKS

In the given work the mathematical model of process of vulcanization of the trunk in a compression mould is developed, for the decision of the basic nonlinear equation of heat conductivity and model kinetics which vulcanizations the method of final elements is used.

Mathematical model of vulcanization of trunks, method of final elements, kinetic model.

Процесс вулканизации шин оказывает значительное влияние на качество и эксплуатационные характеристики конечной продукции. Каждая точка внутри шины имеет уникальную температурную историю во время цикла вулканизации, следствием чего является неравномерное распределение температуры и степени вулканизации. Следовательно, оценка вулканизации при постоянной заданной заранее температуре не является достаточной для точного прогноза степени вулканизации в шине.

Ряд исследований с применением метода конечных элементов (МКЭ) и метода конечных разностей (МКР) уже был выполнен [1]. Эти работы основываются на разработке двухмерной модели, в которой областью решения является поперечное сечение шины. В данной работе разработана математическая модель процесса вулканизации шины в пресс-форме, для решения основного нелинейного уравнения тепло-

проводности и модели кинетики вулканизации которой используется МКЭ.

Математическая модель

Основное уравнение теплопроводности в трехмерной декартовой системе координат выглядит так:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{Q}, \quad (1)$$

где t , T , ρ , C_p , k это время, температура, плотность, теплоемкость и теплопроводность, соответственно. Для резины k предполагается линейной функцией температуры выраженной как [2]:

$$k = a - bT. \quad (2)$$

Определение интенсивности тепловыделения \dot{Q} является нетривиальным вопросом и требует тщательного анализа. Пусть коэффициент a , обозначающий степень вулканизации, определяется как:

$$\alpha = Q_t / Q_\infty. \quad (3)$$

где Q_t и Q_∞ это тепло, выделяющееся к моменту времени t и полная теплота реакции соответственно. Следовательно, интенсивность тепловыделения \dot{Q} вычисляется как:

$$\dot{Q} = Q_\infty \left(\frac{d\alpha}{dt} \right). \quad (4)$$

При вулканизации резиновых материалов степень вулканизации (α), которая представляет меру реакции, описывается множеством эмпирических уравнений. В данной работе была использованная следующая кинетическая модель [2]:

$$\alpha = \frac{k(t-t_i)^n}{1+k(t-t_i)^n}. \quad (5)$$

где k и n это кинетическая постоянная и порядок реакции соответственно. Во время индукционного периода (t_i) химическая реакция не идет. Этот параметр является функцией температуры и может быть описан уравнением Аррениуса:

$$t_i = t_0 \exp(T_0 / T), \quad (6)$$

где t_0 и T_0 – физические постоянные. Параметр k в уравнении (5) это коэффициент скорости:

$$k = k_0 \exp(-E / RT), \quad (7)$$

где k_0 , E и R это постоянная, энергия активации и газовая постоянная, соответственно. Для определения времени индукционного периода была использована следующая зависимость [3]:

$$\bar{t} = \int_0^{\bar{t}} \frac{dt}{t_i(T)}, \quad (8)$$

где $t_i(T)$ это температурная зависимость индукционного периода, описываемая уравнением (6). Когда значение \bar{t} станет равным единице, верхний предел t в интеграле (8) будет рассматриваться как время индукционного периода. Для стадии собственно вулканизации известны несколько неизотермических моделей вулканизации [3]. В простейшей модели коэффициент скорости (k) в каждый этап вычисляется для средней температуры между двумя последовательными этапами времени, например:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)_{T=T_m} dt, \quad (9)$$

где $T_m = \frac{T_i + T_{i-1}}{2}$

$$\text{и} \quad \frac{d\alpha}{dt} = \frac{kn(t-t_i)^{n-1}}{[1+k(t-t_i)^n]^2}. \quad (10)$$

В наиболее точном методе предложен подход с использованием полного дифференциала:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \int_{T_{i-1}}^{T_i} \left(\frac{d\alpha}{dT} \right) dT + \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)_T dt. \quad (11)$$

Следует отметить, что во время процесса вулканизации температура на некоторых этапах (например, стадия охлаждения) уменьшается и описанные выше зависимости подходят для точного прогноза степени вулканизации. Для преодоления этого недостатка обычно применяют два подхода. В первом, используют уравнение кинетики вулканизации в виде

$$d\alpha/dt = k(T)f(\alpha)$$

где $f(\alpha)$ из уравнения (5) имеет следующий вид:

$$\frac{d\alpha}{dt} = nk^{1/n} \alpha^{(n-1)/n} (1-\alpha)^{(n+1)/n}. \quad (12)$$

Следовательно, степень вулканизации может быть вычислена как решение обыкновенного дифференциального уравнения (12). Т. к. правая сторона уравнения зависит от α , то для решения этого нелинейного уравнения, должна быть использована или техника “предиктор-корректор” [4], или правая сторона уравнения (12) должна быть определена в предшествующий этап времени. С другой стороны, т. к. α в начале расчета равно нулю (нулевые начальные условия), правая сторона уравнения (12) не может быть выражена на основе α и k в предыдущий временной шаг (α_{i-1} и k_{i-1}).

Для прогноза степени вулканизации может использоваться метод приведенного времени. Численное выражение для общей степени вулканизации в этом методе [1] выглядит следующим образом:

$$\left(\frac{\alpha_i}{1-\alpha_i} \right)^{1/n} = \left(\frac{\alpha_{i-1}}{1-\alpha_{i-1}} \right)^{1/n} + \left(\int_{t_{i-1}}^{t_i} k^{1/n} dt \right). \quad (13)$$

Как видно, в данном подходе начальное условие для α (например, $\alpha=0$ в момент времени t_i) не затрагивает определение α на следующем интервале времени. Неизотермическая степень вулканизации определяется следующим образом:

$$\left(\frac{d\alpha}{dt} \right)_{\text{неизотермич}} = \frac{\alpha_i - \alpha_{i-1}}{\Delta t}. \quad (14)$$

Вышеописанная модель решается с использованием метода конечных элементов Галеркина. Детали применения метода Галеркина для выведения рабочих формул метода конечных элементов могут быть найдены в нескольких книгах и поэтому здесь не приводятся [4]. Соответствующая нашей задаче рабочая формула выглядит следующим образом:

$$[M]\{\dot{T}\} + [K]\{T\} = \{F\}, \quad (15)$$

где $[M]$, $[K]$ и $\{F\}$ это матрицы массы, жесткости и вводной вектор, соответственно, определяющиеся как:

$$(M)_{ij} = \iiint \rho C_p \varphi_i \varphi_j dx dy dz \quad (16)$$

$$(K)_{ij} = \iiint k \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial x} \frac{\partial \varphi_j}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} \frac{\partial \varphi_j}{\partial y} + \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} \frac{\partial \varphi_j}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \{F\}_i = & \iiint \varphi_i \dot{Q} dx dy dz + \\ & + \int_{\Gamma} \varphi_i k \left(\frac{\partial T}{\partial x} n_x + \frac{\partial T}{\partial y} n_y + \frac{\partial T}{\partial z} n_z \right) d\Gamma. \end{aligned} \quad (18)$$

В этих уравнениях φ , $\{T\}$, и $\{Q\}$ это интерполяционная функция, вектор неизвестных (узловая температура) и его первая производная по времени, соответственно. Чтобы решить обыкновенное матричное дифференциального уравнение первого порядка была использована неявная временная пошаговая схема. Окончательный вид рабочей формулы в этой схеме:

$$\begin{aligned} ([M]^a + \theta \Delta t [K]^a) \{T\}^{n+1} = \\ = ([M]^a - \Delta t [1 - \theta] [K]^a) \{T\}^n + \\ + (1 - \theta) \{F\}^n + \theta \{F\}^{n+1} \Delta t, \end{aligned} \quad (19)$$

где n и $n+1$ относятся к времени t_n и t_{n+1} соответственно. Индекс a также определяется как:

$$\{T\}^a = (1 - \theta) \{T\}^a + \theta \{T\}^{a+1}. \quad (20)$$

Используя изопараметрическое отображение, рабочие формулы рассматриваемой схемы приводятся в локальную систему координат. Компоненты матрицы жесткости и вводного вектора вычисляются для каждого элемента построением квадратуры Гаусса. Результирующие алгебраические уравнения собираются в общую матрицу и решаются прямым алгоритмом решения [4] после наложения соответствующих граничных условий. Вследствие зависимости теплопроводности от температуры, а также зависимости интенсивности тепловыделения от степени вулканизации (da/dt в уравнении (4), набор уравнений является нелинейным и для его решения требуется соответствующая итерационная техника. В данной работе для этой цели мы применяем метод итераций Пикарда [4]:

1. Интересующая целая область разбивается на сетку конечных элементов.

2. Выбирается исходная оценка температурного поля. Скомпонованные рабочие уравнения решаются с использованием соответствующих граничных и начальных условий без учета интенсивности тепловыделения

3. Теплопроводности обновляются на основе вычисленных на предыдущем шаге значений температурного поля.

4. Для каждого элемента из уравнения (8) вычисляется безразмерное время индукции \bar{t} .

5. Если значение \bar{t} близко к единице, тогда степень и скорость вулканизации (α и da/dt , соответственно) для данного элемента вычисляются из уравнений кинетики вулканизации (13) и (14).

6. Интенсивность тепловыделения вычисляется на основе значений da/dt найденных на предыдущем шаге для того элемента, у которого значение \bar{t} больше единицы.

7. Рабочие уравнения МКЭ решаются вновь с обновленными значениями теплопроводности (шаг 3) и \dot{Q} (шаг 6).

8. Шаги 2-7 повторяются до тех пор пока не будет получено решение с требуемой сходимостью. Критерий сходимости, используемый в данной работе, основан на вычислении второй нормы температуры:

$$\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N |T_i^{r+1} - T_i^r|^2}{\sum_{j=1}^N |T_i^{r+1}|^2}} \leq \delta,$$

где N , r и δ это полное количество узлов, число итераций и сходимость соответственно, причем последняя примерно равна 10^{-3} .

9. Время увеличивается на величину Δt ($t \rightarrow t + \Delta t$) до тех пор пока не будет получено окончательное значение продолжительности процесса, иначе шаги 2-7 повторяются для нового значения времени.

Результаты

Вследствие симметрии а также дублирования последовательности участков рисунка протектора в круговом направлении, было рассмотрено только 5⁰ секции шины (см. рис. 1). Анализируемая область была разделена на 1216 восьмивершинных блоков с общим количеством узлов равным 1762.

Время моделирования для процесса вулканизации в пресс-форме составляет 4200 с (70 мин) с шагом времени 42 с. Т. о. для завершения моделирования требуется 100 временных шагов. Граничные условия первого рода со значениями температуры изменяющихся во времени, показанных на рис. 2, были применены к поверхности пресс-формы (поверхность протектора) и внутренней поверхности шины, соответственно.

Основной целью этого исследования было изучение действия теплового потока на распределение температуры и степень вулканизации в круговом направлении.

Для того чтобы проверить точность прогнозируемых результатов, изменения температуры для двух точек внутри шины, расположенных в каркасе и верхних участках протектора были сравнены с экспериментально полученными данными (см. рис. 3).

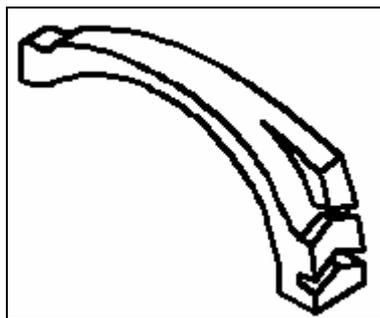


Рис. 1. Анализируемая область шины

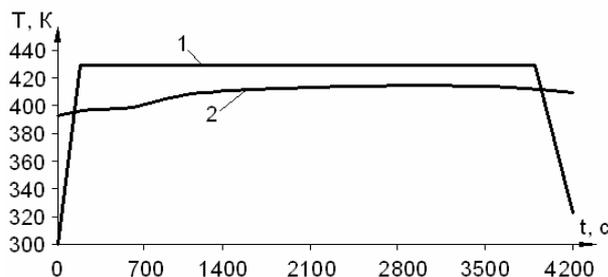


Рис. 2. Изменение внутренней (1) граничной (2) температуры шины в зависимости от продолжительности вулканизации

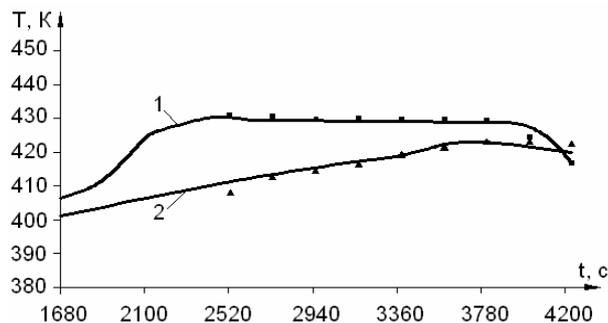


Рис. 3. Изменение температуры нагрева шины в контролируемых точках шины в слое корда (1) и протектора (2)

Результаты моделирования показали, что из-за изменения геометрии протектора в периферическом направлении, а также высокой толщины участка протектора по сравнению с шинами для легковых автомобилей, тепловым потоком в этом направлении нельзя пренебречь. Следовательно, для точного прогноза температурного поля и степени вулканизации в грузовых шинах должна использоваться трехмерная модель.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Prentice G. A., Williams M. C.* Numerical evaluation of the state of cure in a vulcanizing rubber article, *Rub. Chem. Tech.*, 1980
2. *Лукомская А. И., Баденков П. Ф., Кеерша Л. М.* Расчеты и прогнозирование режимов вулканизации резиновых изделий – М.: Химия, 1978, 280 с.
3. *Кашкинова Ю. В.* Количественная интерпретация кинетических кривых процесса вулканизации в системе организации рабочего места технолога-резинщика – Москва: дис. канд. техн. наук, 2005, 180 с.
4. *Зенкевич О. С.* Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975, 340 с.

УДК 681.5.01:621.396.6

С. А. Хватынец

ОСТРОВНОЙ ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ ПЛАТ

Московский Энергетический Институт (ТУ) (ywk@mail.ru)

В работе приведено описание «Островного» эвристического алгоритма проектирования МПП с привлечением методов многокритериального выбора и алгоритмизацией наиболее важных этапов.

Ключевые слова: Эвристическое проектирование многослойных печатных плат. Оптимальная стратегия размещения. Островной алгоритм размещения. Переразмещение «мелких» элементов.

S. A. Khvatynets

ISLAND HEURISTIC DESIGN TECHNIQUE OF MULTILAYER PRINTED CIRCUIT BOARDS

In this paper, the description of "Island" heuristic algorithm of PCBs design with engaging methods of multicriteria choice and algorithmisation of most important stages is represented.

Heuristic designing of multilayer printed circuit cards. The optimum strategy of allocation. Island algorithm of allocation. Rearrangement of "fine" units.

Введение

Конструирование современных радиоэлектронных устройств неразрывно связано с задачей топологического проектирования многослойных коммутационных плат (МКП) РЭА. Не смотря на то, что алгоритмы автоматического

проектирования МКП постоянно совершенствуются [1], "ручное" проектирование остается самым качественным и по сей день.

В предлагаемой работе изложена доработка, разработанного ранее эвристического метода проектирования МПП [4, 5], с привлечением

методов многокритериального выбора [3], состоящего из четырех этапов:

- 1) поиск оптимального варианта стратегии размещения компонентов;
- 2) выбор "главных" компонентов, вокруг которых будут размещаться компоненты обвязки – формирование острова;
- 3) сближение образованных островов;
- 4) перерасположение мелких компонентов для большего сближения островов и трассировки печатных проводников.

Поясним на примере работу островного алгоритма размещения компонентов на МКП. Требуется разместить на МКП компоненты графической подсистемы, применяемой в серверных системных платах, состоящей из процессора обработки двухмерной и трехмерной графической информации, оперативной памяти и источника питания. Осуществить трассировку проводников на четырех слоях печатной платы – двух питающих (питание и заземление) и двух сигнальных. Подсистема оперативной памяти процессора состоит из двух банков. Тактирование каждого банка памяти асинхронное, тактирование внутри банка – синхронное.

Первый этап размещения – это поиск стратегии размещения компонентов. Под стратегией размещения будем понимать некий абстрактный эскиз (идею) печатной платы, с размещенными на ней "главными" компонентами. На последующих этапах эскиз будет оптимизироваться с учетом выбранных критериев оптимальности. Под главными компонентами понимаются крупные компоненты – процессоры, микросхемы, разъемы и т. д. Процесс поиска оптимальных вариантов стратегии размещения, при отсутствии прото-

типов проектируемого устройства, можно представить в виде алгоритма (см. рис. 1).

{блок 3} Всем "главным" компонентам эвристически назначаются коэффициенты важности в порядке убывания жесткости требований по ЭМС и тепловому режиму. В нашем примере "главными" компонентами являются процессор, четыре микросхемы оперативной памяти и источник питания.

{блок 5} Осуществляется поиск "главных" компонентов с наибольшим значением коэффициента важности. В нашем примере такими компонентами являются процессор и четыре микросхемы оперативной памяти.

{блок 6} Осуществляется поиск всех возможных вариантов взаимного расположения ранее отобранных "главных" компонентов (формирование множества A0). В нашем примере наиболее вероятными вариантами будут следующие (см. рис. 2, 3, 4 и 5).

{блок 7} Теперь необходимо усечь множество вариантов A0, наложив ограничения по ЭМС и тепловому режиму.

Для удобства трассировки печатных проводников выводы процессора располагаются группами. Примерное расположение функциональных групп контактов показано на рис. 6, из которого следует, что все остальные варианты расположения микросхем оперативной памяти – худшие и рассмотрению не подлежат, т. к. не выполняются требования ЭМС.

При размещении графической памяти по Варианту 1 (рис. 2) длина тактирующих проводников для обоих банков памяти примерно равна, что положительно скажется на стабильности работы оперативной памяти.



Рис. 1. Алгоритм поиска оптимальной стратегии размещения

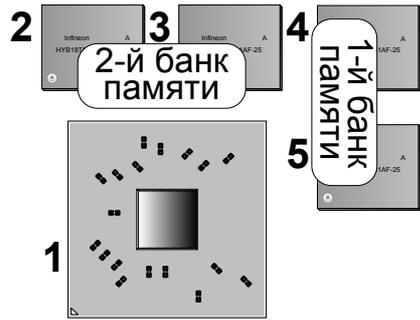


Рис. 2. Вариант 1 размещения памяти

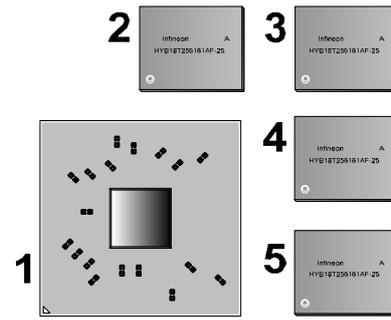


Рис. 3. Вариант 2 размещения памяти

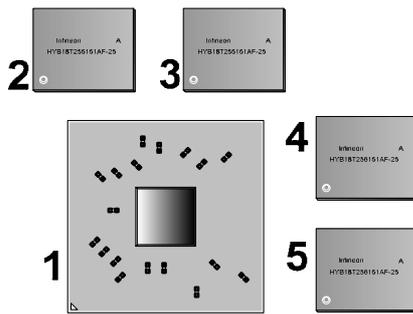


Рис. 4. Вариант 3 размещения памяти

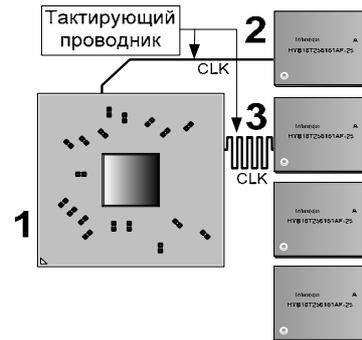


Рис. 5. Вариант 4 размещения памяти

Во втором варианте размещения (см. рис. 3), микросхемы памяти во втором банке находятся на разных расстояниях от соответствующих контактных групп процессора, что приводит к необходимости выравнивания по длине проводника для микросхемы "1". Выравнивание осуществляется путем многократных изгибов проводника, что повышает паразитную индуктивность и емкость такой линии передач, а также требует дополнительного места на печатной плате. Все это говорит о том, что этот вариант не подходит.

Вариант 3 (см. рис. 4) обладает теми же положительными качествами, что и Вариант 1 (см. рис. 2).

Вариант 4 (см. рис. 5) обладает тем же недостатком, что и Вариант 2 (см. рис. 3). Этот вариант также не подходит.

Итак, исходное множество вариантов размещения "главных" компонентов с высокими значениями коэффициентов важности A0 усечено до двух – Вариант № 1 и Вариант № 3. Эти два варианта образуют множество A1. Область занимаемая компонентами из A1 фиксируется и на последующих шагах алгоритма поиска стратегии размещения (см. рис. 1) положение компонентов из A1 не изменяется.

{блок 8} Снизив значение коэффициента важности, мы "открываем" другие компоненты. В нашем примере это источник питания ядра процессора.

{блок 9} В нашем примере множество A1 включает в себя два варианта стратегии размещения и для них необходимо выбрать оптимальное расположение источника питания ядра процессора (см. рис. 7 и рис. 8). После того, как были определены оптимальные варианты расположения источника питания, множество A1 обновляется – Вариант № 1 и Вариант № 3 из множества A1 содержит в себе процессор, четыре микросхемы памяти и источник питания.

{блок 10} Теперь нам необходимо отсеять варианты, входящие во множество A1, не отвечающие требованиям по ЭМС, как для самой проектируемой системы, так и для надсистемы (в нашем примере это системная плата).

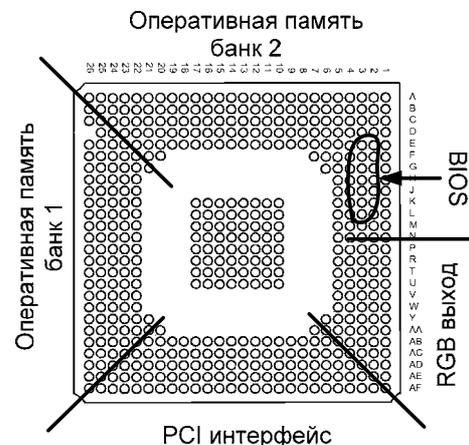


Рис. 6. Расположение групп контактов процессора

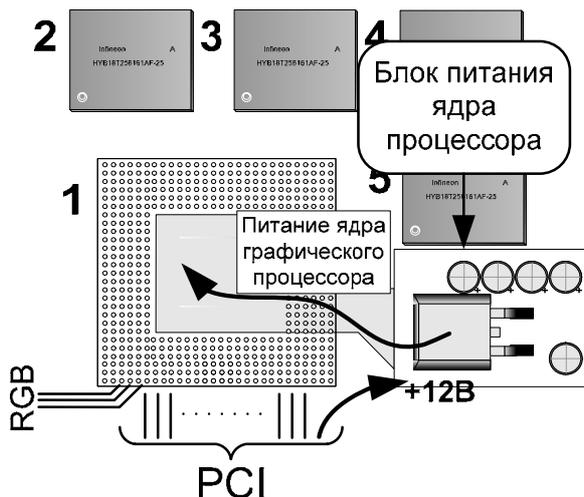


Рис. 7. Расположение источника питания ядра процессора для Варианта № 1 размещения оперативной памяти

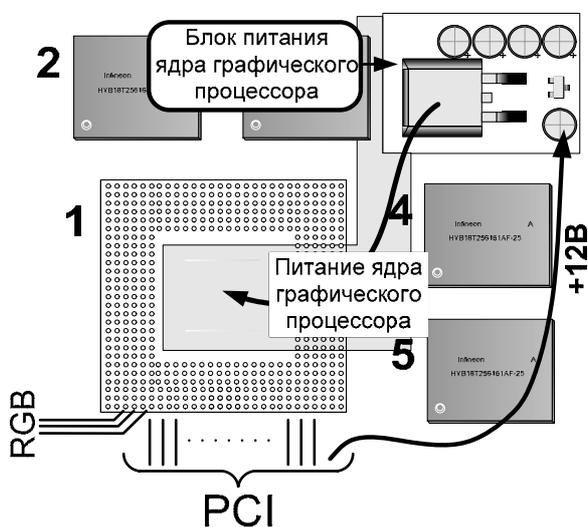


Рис. 8. Расположение источника питания ядра процессора для Варианта № 3 размещения оперативной памяти

Питание ядра процессора осуществляется специальным источником питания, обеспечивающим до 15А при напряжении питания 2.7 В. Такой ток невозможно передать по печатному проводнику, поэтому для подведения питания используется область питающего слоя.

В Варианте № 1 (см. рис. 7) источник питания расположен вдали от аналоговых RGB трасс и близко к шине 12В.

В Варианте № 3 (см. рис. 8) для подведения к источнику питания напряжения +12В требуется гораздо большая площадь питающего слоя, нежели для Варианта № 1.

Итак, мы усекли множество А1 до единственного варианта, тем самым определив стратегию размещения "главных" компонентов.

Второй этап размещения – формирование "островов". Под "островом" будем понимать "главный" компонент, с размещен-

ными вокруг него подчиненными компонентами более низкого уровня иерархии ("обязкой"). Производится размещение компонентов обязанности вокруг соответствующего "главного" компонента с учетом требований по ЭМС [2]. После завершения *второго этапа размещения* на рабочем поле САПР образуются участки с повышенной концентрацией компонентов – "острова" и пустые участки.

Третий этап размещения – это сближение образовавшихся островов. Третий этап начинается с определения центра сближения – острова, положение которого на МПП строго определено в документации или иным способом из-за чего в процессе сближения он остается неподвижным. В отсутствие таковых, центром сближения назначается компонент с наибольшим значением коэффициента важности. Очередность сдвига островов определяется значениями коэффициентов важности. Вышесказанное можно представить в виде алгоритма (см. рис. 9). Конечная цель данного этапа – как можно плотнее сблизить получившиеся острова. Степень сближения оценивается разработчиком эвристически и зависит от ширины используемых в проекте печатных проводников.

В нашем примере центром сближения назначается процессор, как компонент с наибольшим значением коэффициента важности. Следующие по значению коэффициента важности – четыре микросхемы оперативной памяти. Далее следует источник питания ядра процессора.

Итак, к концу третьего этапа определены (но не окончательно) положения островов.

Четвертый этап размещения предполагает осуществление процесса перераспределения мелких компонентов, трассировки и перетрассировки соединений. На этом этапе, ранее размещенные мелкие элементы, с учетом прокладываемых трасс, могут быть или смещены, или перемещены на другие места, обеспечивающие более рациональное формирование межсоединений. Трассировка осуществляется эвристически по визуально выделенному полю с соблюдением общих правил [2] и требований по ЭМС.

Порядок трассировки также подчиняется порядку значений коэффициентов важности, т. е. острова с высоким значением коэффициента важности трассируются в первую очередь. Процесс трассировки печатных проводников между островами представлен на рис. 10 в виде эвристического алгоритма.

Окончательно "островной" способ размещения и трассировки можно представить в виде обобщенного алгоритма см. рис. 11.

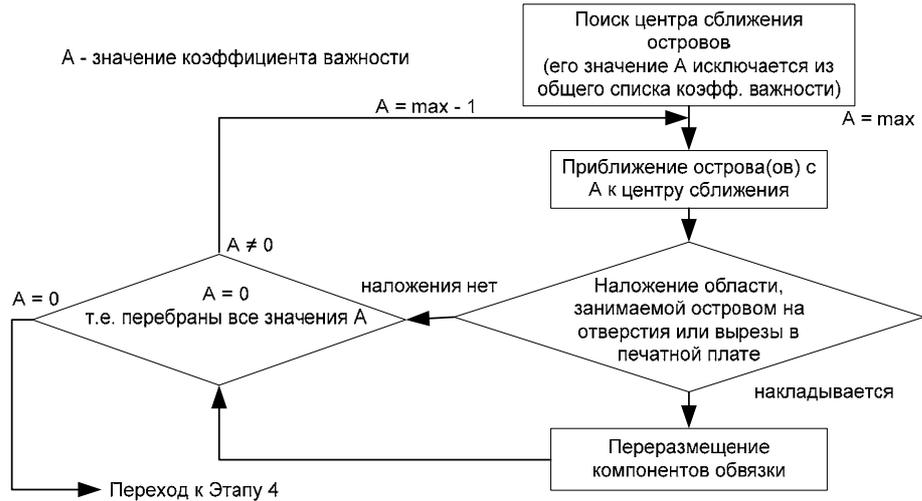


Рис. 9. Алгоритм сближения островов

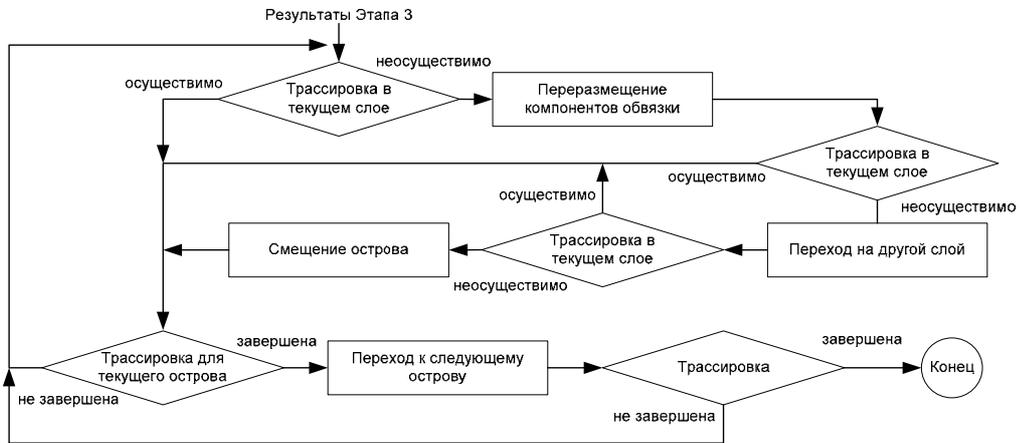


Рис. 10. Алгоритм трассировки соединений на Этапе 4

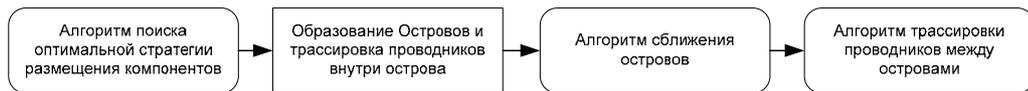


Рис. 11. "Островной" алгоритм размещения и трассировки компонентов

Заключение

Предлагаемая методика основана на эвристическом формировании нескольких альтернативных вариантов создания топологии "островов" и размещении подчиненных элементов внутри них. Подобный подход позволяет осуществить многовариантное проектирование МКП и последующее сравнение выдвинутых гипотез о рациональности конструктивных решений по критериям минимальной суммарной длины и максимальной связности элементов, как внутри образований, так и "островов" между собой. Разработанный алгоритм универсален он позволяет проектировать печатные платы с любым количеством слоев для РЭС и ЭВА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селютин В. А. Машинное конструирование электронных устройств. – М.: Сов. радио, 1977.
2. Advanced Micro Devices. High-Speed Board Design Techniques, August 1997.
3. Кандырин Ю. В. Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: МЭИ, 2004. – 176 с.
4. Хватынец С. А. Развитие островного принципа размещения компонентов на многослойных печатных платах с учетом связности и теплового режима. Двенадцатая МНТК студентов и аспирантов. 2–3 марта 2006 г.
5. Хватынец С. А. Использование островного принципа размещения компонентов на многослойных печатных платах. Десятая МНТК студентов и аспирантов. 2–3 марта 2004 г.

УДК 681.0

А. В. Кочкадаев, Г. В. Дикарина, А. Г. Ташлинский
**СОКРАЩЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ПРИ ПОИСКЕ
ПО ЭТАЛОНУ ФРАГМЕНТА НА БОЛЬШОМ ИЗОБРАЖЕНИИ**

Ульяновское высшее военное инженерное училище связи (cad@vstu.ru)

В настоящее время широкое распространение получили системы извлечения информации, включающие в себя пространственные апертуры датчиков сигналов. При этом одной из характерных задач является поиск по эталону на изображении фрагмента и параметров его местоположения. В статье рассматриваются методы сокращения вычислительных затрат при поиске.

Ключевые слова: датчики, поиск по эталону, изображение.

A. V. Kochkodayev, G. V. Dikarina, A. G. Tashlinsky
COMPUTATIONAL BURDEN REDUCTION FOR PATTERN SEARCH ON IMAGES

Data mining systems which include spatial apertures for signal transmitters are widely spread nowadays. Pattern search of fragment and defining its parameters and position is one of the most typical tasks. The paper describes methods of computational burden reduction for the task.

Signal transmitters, pattern search, digital image.

1. Введение

В настоящее время широкое распространение получили системы извлечения информации, включающие в себя пространственные апертуры датчиков сигналов. Динамические массивы данных, поступающие с таких датчиков пространственно коррелированы, благодаря чему они могут быть представлены в виде изображений [1]. При этом одной из характерных задач является поиск по эталону на изображении фрагмента и параметров его местоположения. Искомый фрагмент может отличаться от эталонного геометрическими деформациями (поворотом, масштабом и пр.) и яркостными параметрами. Решение в этом случае может быть получено с помощью оценивания геометрических деформаций между эталонном и фрагментом, которые ниже будем называть межкадровыми геометрическими деформациями (МГД).

Предположим, что модель МГД определена с точностью до вектора параметров $\bar{\alpha}$, а критерий качества оценивания $\bar{\alpha}$ сформулирован в терминах минимизации некоторого функционала $J(\bar{\alpha})$, отражающего ожидаемые потери. Однако найти в указанном смысле оптимальные параметры $\bar{\alpha}^*$ невозможно ввиду неполноты описания наблюдаемого изображения. В этом случае параметры $\bar{\alpha}$ можно оценить на основании анализа конкретной реализации Z наблюдаемого изображения с помощью некоторой процедуры адаптации, которая минимизирует $J(\bar{\alpha}) = J(\bar{\alpha}, Z)$ для конкретной реализации Z . При этом целесообразно использование псевдоградиентных процедур (ППГ) [2]

$$\hat{\alpha}_t = \hat{\alpha}_{t-1} - \Lambda_t \bar{\beta}_t, \quad (1)$$

где $\bar{\alpha}$ – вектор оцениваемых параметров; $\hat{\alpha}_t$ – следующее за $\hat{\alpha}_{t-1}$ приближение точки минимума $J(\hat{\alpha}, Z)$; Λ_t – матрица усиления (положительно определенная матрица, определяющая величину изменения оценок на t -й итерации); $\bar{\beta}$ – псевдоградиент функционала $J(\hat{\alpha}_{t-1})$; $t = \overline{1, T}$ – номер итерации; $\hat{\alpha}_0$ – начальное приближение вектора параметров; T – число итераций. Процедуру (1) будем называть псевдоградиентной, если $\bar{\beta}_t$ является псевдоградиентом на каждой ее итерации. Понятие псевдоградиента, на основе которого разработан единый подход к анализу и синтезу разнообразных процедур стохастической минимизации функционалов, введено в работе [3]. Для поставленной задачи псевдоградиентом $\bar{\beta}_t$ будет любой случайный вектор в пространстве параметров, зависящий от функционала $J(\bar{\alpha})$ и оценок $\hat{\alpha}_{t-1}$, для которого выполняется условие

$$\left[\nabla J(\hat{\alpha}_{t-1}) \right]^T M \{ \bar{\beta}_t \} \geq 0,$$

где $\nabla J(\hat{\alpha}_{t-1})$ – градиент $J(\hat{\alpha}_{t-1})$; $M \{ \cdot \}$ – символ математического ожидания.

В псевдоградиентных процедурах требуемая точность оценок параметров $\bar{\alpha}$ достигается не во всей области $\Omega_{\bar{\alpha}}$ возможных значений $\bar{\alpha}$, а лишь в некоторой подобласти, ограниченной рабочим диапазоном процедур. Это приводит к необходимости разбиения $\Omega_{\bar{\alpha}}$ на N подобластей $\Omega_{\bar{\alpha}}^{(i)}(\hat{\alpha}_{0,i})$, $i = \overline{1, N}$, соответствующих

рабочему диапазону используемых процедур, где $\hat{\alpha}_{0,i}$ – начальное приближение параметров для процедуры i -й подобласти. Процедуру, работающую в подобласти, которой принадлежит искомым фрагмент, будем называть V -процедурой (от *veritas* – истинная), а подобласть – V -подобластью. Остальные подобласти будем называть P -подобластями (от *pseudo* – ложная), а соответствующие им процедуры – P -процедурами. В результате работы всех процедур формируется N векторов $\hat{\alpha}_i$, оценок параметров МГД и возникает задача определения среди них с требуемой доверительной вероятностью V -подобласти.

2. Принцип управления множеством псевдоградиентных процедур

В задаче поиска фрагмента число подобластей может достигать десятков тысяч, поэтому доведение всех процедур, работающих в подобластях, до числа итераций, обеспечивающего необходимую точность оценивания, требует больших вычислительных затрат. Дополнительных вычислений при таком подходе требует и выбор V -подобласти. Для сокращения вычислительных затрат может быть использован следующий принцип управления множеством псевдоградиентных процедур [3]. На каждом шаге алгоритма приоритет выполнения очередной итерации предоставляется процедуре, имеющей наименьшее значение некоторой функции штрафа ψ , характеризующей уровень приоритета. При этом под "шагом алгоритма" будем понимать совокупность операций, включающую: выполнение процедурой с наименьшей функцией штрафа очередной итерации, нахождение нового значения функции штрафа и определение процедуры с наименьшей функцией штрафа. Особенностью при таком подходе является то, что требуется сравнение "штрафов" процедур, выполнивших разное число итераций. Исследования [4] показали, что при минимизации целевой функции таким требованиям удовлетворяет функция штрафа

$$\psi_t^{(i)} = \sum_{k=1}^t (q_k^{(i)} - q_{\inf}), \quad i = \overline{1, N},$$

где $q_k^{(i)}$ – оценка целевой функции на k -й итерации; $q_{\inf} \leq \inf \{q_k^{(i)}\}$ – величина, не превышающая нижнюю границу множества возможных оценок целевой функции. Если же целевая функция максимизируется, то

$$\psi_t^{(i)} = \sum_{k=1}^t (q_{\sup} - q_k^{(i)}), \quad i = \overline{1, N},$$

где $q_{\sup} \geq \sup \{q_k^{(i)}\}$.

В процессе сходимости оценок параметров к оптимальным значениям изменяются вероятностные свойства оценок целевой функции, что приводит и к изменению вероятностных свойств функции штрафа ψ . Поэтому для исследования свойств ψ необходимо знать ее плотность распределения вероятностей $w_t(\psi)$ на каждой итерации оценивания. При этом $w_t(\psi)$ зависит от локальной выборки Z_t , т. е. от степени соответствия множеств $\{z_{j,t}^{(1)}\}$ и $\{z_{j,t}^{(2)}\}$ отсчетов, входящих в локальную выборку. В качестве величины, характеризующей это соответствие, целесообразно использовать выборочный коэффициент корреляции ρ . Для изотропных изображений ρ является одномерной характеристикой при любом числе оцениваемых параметров, что упрощает вычисления. Для распределения вероятностей приращения $\Delta\psi$ функции штрафа на t -й итерации можно записать

$$w_t(\Delta\psi) = \int_{-1}^1 w_t(\Delta\psi | \rho) w(\rho) d\rho, \quad (2)$$

где $w_t(\Delta\psi | \rho)$ – условная плотность приращения; $w(\rho)$ – плотность распределения вероятностей коэффициента корреляции. Заметим, что для V -процедур $w_t(\Delta\psi | \rho)$ зависит от номера итерации, т. к. по мере сходимости вектора оценок $\hat{\alpha}$ к оптимальным значениям ρ увеличивается.

Не теряя общности можно считать, что ψ принимает только положительные значения. Тогда для вычисления плотности распределения ψ на t -й итерации V -процедуры можно записать рекуррентное выражение:

$$w_t(\psi) = \int_{0-1}^{\infty} \int_{-1}^1 w_{t-1}(\psi - \Delta\psi_t) w_t(\Delta\psi | \rho) w(\rho) d\Delta\psi d\rho. \quad (3)$$

Для P -процедур $w_t(\Delta\psi | \rho)$ не зависит от номера итерации, соответственно

$$w_t(\psi) = \int_0^{\infty} w_{t-1}(\psi - \Delta\psi_t) w(\Delta\psi) d\Delta\psi, \quad (4)$$

где $w(\Delta\psi) = w_t(\Delta\psi | \rho = 0)$.

Выражения (2)–(4) позволяют найти плотность распределения функции штрафа для различных целевых функций.

3. Проверка гипотезы об отсутствии на изображении искомого фрагмента

Если априорно неизвестно существование искомого фрагмента на исследуемом изображении, то возникает задача проверки гипотезы, что среди N подобластей, на которые разбито изображение, нет V -подобласти. Рассмотрим возможность построения простого критерия проверки такой гипотезы. При этом воспользуемся тем обстоятельством, что при использовании принятого принципа управления ПГП основным признаком V -подобласти является число итераций, выполненных работающей в ней процедурой. Если среди исследуемых процедур присутствует процедура, работающая в подобласти искомого фрагмента, то число выполненных ею итераций, как правило, будет больше числа итераций, выполненных процедурами, работающими в P -подобластях. Поэтому V -процедура достигает заданного числа итераций в среднем быстрее P -процедур. При отсутствии V -подобласти все процедуры выполняют в среднем равное число итераций и пороговое число итераций лидирующая процедура достигает за большее число шагов алгоритма. Таким образом, в качестве численного значения критерия выполнения гипотезы об отсутствии V -подобласти может быть выбрано общее число M итераций, выполненных всеми процедурами, т. е. число шагов алгоритма до достижения лидирующей процедурой некоторого порогового значения T_M . При этом статистический критерий проверки гипотезы оказывается очень простым: если за $M = M_c$ шагов алгоритма ни одна из процедур не достигла T_M -й итерации, то в исследуемых подобластях нет искомого фрагмента. Выбор величин T_M и M_c позволяет обеспечить требуемые вероятности ошибки первого и второго рода.

Величина T_M в ряде случаев может определяться задачей последующего после проверки гипотезы исследования, например, в задаче поиска фрагмента на изображении – точностью определения параметров его местоположения. В этом случае число шагов алгоритма M_{c1} или M_{c2} , обеспечивающее требуемую вероятность ошибки первого или второго рода, целесообразно находить исходя из уже заданной величины T_M . Заметим, что каждому значению M_{c1} , обеспечивающему некоторую вероятность ошибки первого рода, соответствует какое то значение вероятности ошибки второго рода.

И наоборот. Задавать можно только одну из вероятностей, вторая при этом будет определяться значением уже заданной и параметрами алгоритма. Одновременного выполнения обоих условий (при этом одно из них будет ограничением) можно добиться выбором величины T_M . Если же T_M и параметры алгоритма заданы, то можно найти требуемое число шагов M_{c1} для вероятности ошибки первого рода и M_{c2} для вероятности ошибки второго рода и наибольшее из них использовать в алгоритме в качестве порогового значения. В процессе выполнения алгоритма в зависимости от числа итераций t_L , выполненных лидирующей процедурой, и общего числа M шагов алгоритма возможно несколько ситуаций, соответствующих различным значениям вероятностей ошибок принятия гипотезы об отсутствии в исследуемой области параметров V -подобласти:

- $t_L < T_M$ и $M < M_{c1} \wedge M < M_{c2}$ – вероятности ошибок первого и второго рода превышают заданные значения $P^{(1)}$ и $P^{(2)}$;
- $t_L < T_M$, $M = \min \{M_{c1}, M_{c2}\}$ и $M_{c1} < M_{c2}$ – вероятность ошибки первого рода не превышает величины $P^{(1)}$;
- $t_L < T_M$, $M = \min \{M_{c1}, M_{c2}\}$ и $M_{c1} > M_{c2}$ – вероятность ошибки второго рода не превышает величины $P^{(2)}$;
- $t_L < T_M$ и $M = \max \{M_{c1}, M_{c2}\}$ – вероятности ошибок первого и второго рода не превышают заданных значений $P^{(1)}$ и $P^{(2)}$;
- $t_L \geq T_M$ и $M < M_{c1} \wedge M < M_{c2}$ – вероятность ошибки первого рода превышает заданную величину $P^{(1)}$.

Рассмотрим достоверность критерия. Вначале найдем число шагов алгоритма M_{c2} , обеспечивающее проверку гипотезы с заданной вероятностью ошибки второго рода $P^{(2)}$. Эта ошибка может быть совершена при одновременном выполнении двух условий:

- V -процедура не достигла T_M -й итерации (будем считать, что вероятность выполнения этого условия $P_V^{(2)}$);
- ни одна из P -процедур не достигла T_M -й итерации (будем считать, что вероятность выполнения этого условия $P_P^{(2)}$).

Тогда, считая $P_V^{(2)}$ и $P_P^{(2)}$ независимыми, получаем $P^{(2)} = P_V^{(2)} P_P^{(2)}$. Для нахождения веро-

ятностей $P_V^{(2)}$ и $P_P^{(2)}$ необходимо знать дискретные распределения числа итераций для V - и P -процедур при заданном числе M шагов алгоритма. Обозначим дискретное распределение числа итераций для V -процедуры через P_{V_t} , $t = \overline{1, T_M}$, где P_{V_t} – вероятность того, что за M шагов алгоритма V -процедура выполнила t итераций. Тогда, вероятности того, что V -процедура не достигнет T_M -й итерации $P_V^{(2)} = \sum_{t=1}^{T_M-1} P_{V_t}$. Аналогично дискретное распределение числа итераций для P -процедуры обозначим через P_{P_t} , $t = \overline{1, T_M}$, где P_{P_t} – вероятность того, что P -процедура выполнила t итераций за M шагов алгоритма. При этом вероятность того, что ни одна из P -процедур не достигнет T_M -й итерации $P_P^{(2)} = \left(\sum_{t=1}^{T_M-1} P_{P_t} \right)^{N-1}$. Заметим, что P_{V_t} и P_{P_t} зависят от общего числа M шагов алгоритма, соответственно разным M будут соответствовать разные плотности распределения $w_{T_M}(\psi)$ функции штрафа.

Если заданы число шагов алгоритма M и вероятность $P^{(2)}$, то соответствующее им число итераций T_M можно определить из следующих соображений. За M шагов алгоритма V -процедура выполнит в среднем $\sum_{t=1}^{T_M-1} tP_{V_t}$ итераций, а каждая из P -процедур – $\sum_{t=1}^{T_M-1} tP_{P_t}$ итераций. Тогда T_M можно найти из условия

$$\sum_{t=1}^{T_M-1} tP_{P_t} + (N-1) \sum_{t=1}^{T_M-1} tP_{V_t} = M.$$

После определения T_M несложно найти вероятности P_{V_t} и P_{P_t} :

$$P_{P_t} = \int_0^{\infty} w_{T_M}(\psi)(1 - F_{P_t}(\psi))d\psi - \sum_{i=1}^{t-1} P_{P_i},$$

$$P_{V_t} = \int_0^{\infty} w_{T_M}(\psi)(1 - F_{V_t}(\psi))d\psi - \sum_{i=1}^{t-1} P_{V_i},$$

где $F_{P_t}(\psi) = \int_0^{\psi} w_{P_t}(x)dx$ и $F_{V_t}(\psi) = \int_0^{\psi} w_{V_t}(x)dx$ – функции распределения ψ на t -й итерации для P - и V -процедур; $w_{T_M}(\psi)$ – плотность распределения функции штрафа на T_M -й итерации, которая определяется процедурами как V -, так и P -типа. При одной V -процедуре

$$w_{T_M}(\psi) = w_{VT_M}(\psi)(1 - F_{PT_M}(\psi))^{N-1} + w_{PT_M}^{(N-1)}(\psi)(1 - F_{VT_M}(\psi)),$$

где $w_{PT_M}^{(N-1)}(\psi)$ – плотность распределения на T_M -й итерации минимального из $(N-1)$ -го значений функций штрафа P -процедур. Таким образом

$$P^{(2)} = \sum_{t=1}^{T_M-1} P_{V_t} \left(\sum_{i=1}^{T_M-1} P_{P_i} \right)^{N-1} = \left(\int_0^{\infty} w_{T_M}(\psi)(1 - F_{V(T_M-1)}(\psi))d\psi \right) \left(\int_0^{\infty} w_{T_M}(\psi)(1 - F_{P(T_M-1)}(\psi))d\psi \right).$$

Аналогично можно найти вероятность ошибки первого рода $P^{(1)}$ (вероятность того, что хотя бы одна из N P -процедур за M шагов алгоритма выполнит не менее T_M итераций):

$$P^{(1)} = 1 - \left(\sum_{i=1}^{T_M-1} P_{P_i} \right)^N.$$

В этом случае V -процедуры отсутствуют, поэтому $w_{T_M}(\psi) = w_{PT_M}^{(N)}(\psi)$ – распределение вероятностей минимального из N значений функций штрафа P -процедур. Тогда

$$P^{(1)} = 1 - \left(\sum_{i=1}^{T_M-1} P_{P_i}^{(1)} \right)^N = 1 - \int_0^{\infty} w_{PT_M}^{(N)}(\psi)(1 - F_{P(T_M-1)}(\psi))d\psi.$$

4. Анализ вычислительных затрат

Информацию, необходимую для анализа средних вычислительных затрат, содержат распределения вероятностей числа итераций, выполненных V -процедурой и P -процедурами при достижения одной из процедур пороговой T -й итерации. Пусть априорно известно, что изображение содержит искомый фрагмент. Предположим также, что значение функции штрафа лидирующей процедуры на T -й итерации известно и равно ψ_T . Тогда условная вероятность того, что после первой же итерации значение ψ_{P_1} функции штрафа P -процедуры, превысит ψ_T

$$P_P(1|\psi_T) = P(\psi_{P_1} > \psi_T) = \int_{\psi_T}^{\infty} w_{P_1}(\psi)d\psi.$$

При этом из $(N-1)$ -й P -процедур выполнят только одну итерацию в среднем $(N-1)P_P(1|\psi_T)$ процедур. Вероятность $P_P(t|\psi_T)$ того, что превышение величины ψ_T произойдет именно после t -й итерации, равна

$$P_P(t|\psi_T) = \int_{\psi_T}^{\infty} w_{P_t}(\psi) d\psi - \int_{\psi_T}^{\infty} w_{P_{t-1}}(\psi) d\psi = \int_{\psi_T}^{\infty} w_{P_t}(\psi) d\psi - \sum_{i=1}^{t-1} P_P(i|\psi_T), \quad (5)$$

а t итераций в среднем выполняют $(N-1)P_P(t|\psi_T)$ процедур. Соотношение (5) при $t=1, T-1$ соответствует условному дискретному распределению числа итераций, выполненных P -процедурой. Аналогичное условное распределение вероятностей $P_V(t|\psi_T)$, $t=1, T-1$, можно получить и для V -процедуры. Тогда среднее число процедур, выполнивших t итераций, составит

$$N_m(t) = P_V(t|\psi_T) + (N-1)P_P(t|\psi_T).$$

Для нахождения безусловного распределения вероятностей $\{P_t, t=1, T-1\}$ необходимо учесть, что значение ψ_T является случайной величиной. При этом V -процедура будет лидирующей с вероятностью $P(\min \psi_{P_{Ti}} > \psi_T)$, где $\min \psi_{P_{Ti}}$ – минимальное из значений функций штрафа P -процедур. Если же $\psi_{VT} > \psi_T$, то с вероятностью $P(\psi_{VT} > \psi_T) = 1 - F_{VT}(\psi)$ лидирующей будет одна из P -процедур. Тогда для распределения вероятностей $w(\psi_T)$ минимального значения функции штрафа всех процедур

$$w(\psi_T) = w_{VT}(\psi)P(\min \psi_{P_{Ti}} > \psi_T) + w_{PT}(\psi)P(\psi_{VT} > \psi_T). \quad (6)$$

В предположении некоррелированности локальных выборок P -процедур

$$P(\min \psi_{P_{Ti}} > \psi_T) = (1 - F_{PT}(\psi))^{N-1}.$$

С учетом (5) и (6) для безусловного распределения $\{P_t, t=1, T-1\}$, числа итераций можно записать

$$P_t = \int_0^{\infty} w_T(\psi) \int_{\psi}^{\infty} (w_{P_t}(x) - w_{P_{t-1}}(x)) dx d\psi, \quad (7)$$

где $w_T(\psi) = w_{VT}(\psi)(1 - F_{PT}(\psi))^{N-1} + w_{PT}^{(N-1)}(\psi)(1 - F_{VT}(\psi));$ (8)

$w_{PT}^{(N-1)}(\psi)$ – распределение вероятностей минимального значения функций штрафа P -процедур на T -й итерации.

Заметим, что если нужен расчет всех составляющих распределения (7), то для снижения вычислительных затрат удобнее использовать рекуррентное соотношение

$$P_t = \int_0^{\infty} w_T(\psi)(1 - F_{P_t}) d\psi - \sum_{i=1}^{t-1} P_{P_i}, \quad (9)$$

а для расчета вероятности $P_{t-l,t}$ нахождения числа итераций в интервале от $(t-l)$ до t , $l=2, t-1$ выражение:

$$P_{t-l,t} = \int_0^{\infty} w_T(\psi) \int_{\psi}^{\infty} (w_{P_t}(x) - w_{P_{t-l}}(x)) dx d\psi.$$

При отсутствии искомого фрагмента выражение (8) упрощается:

$$w_T(\psi) = w_{PT}^{(N)}(\psi).$$

Тогда для распределения $\{P_t, t=1, T-1\}$ получаем

$$P_t = \int_0^{\infty} w_{PT}^{(N)}(\psi)(1 - F_{P_t}) d\psi - \sum_i^{t-1} P_{P_i}. \quad (10)$$

На рис. 1 приведены примеры распределения вероятностей числа итераций для задачи поиска фрагмента на изображении при наличии (рис. 1, а) и отсутствии (рис. 1, б) на изображении искомого фрагмента. Результаты получены с использованием соотношений (9) и (10) при достижении лидирующей процедурой сотой итерации.

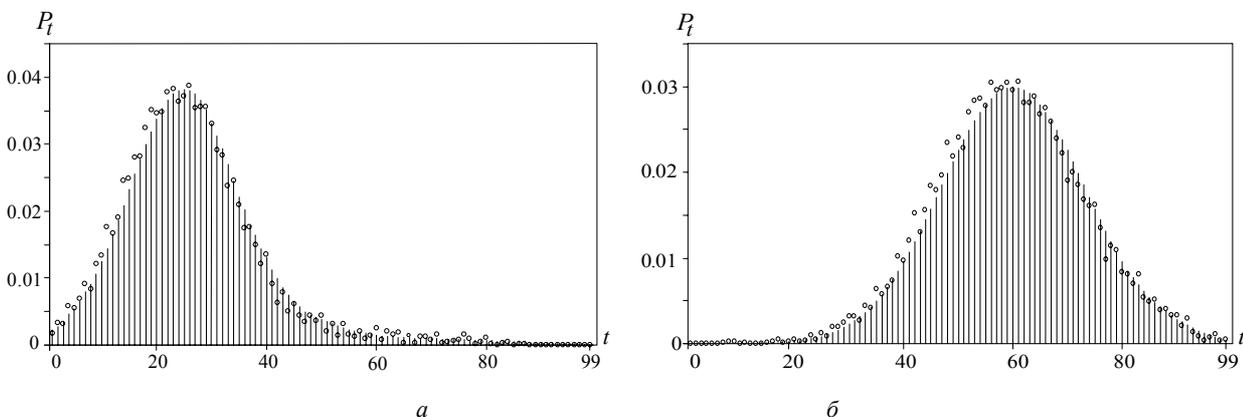


Рис. 1. Дискретное распределение вероятностей числа итераций

Сдвиг фрагмента относительно начального приближения задавался равным 5 шагам сетки отсчетов, в качестве целевой функции использовался выборочный коэффициент межкадровой корреляции, в процедурах применялась диагональная матрица усиления, отношение дисперсии сигнала к дисперсии шума 100. Для приведенного примера при отсутствии на изображении искомого фрагмента общее число итераций всех процедур примерно в 2,3 раза больше.

На рисунках приведены также экспериментальные результаты (кружочки), полученные при аналогичных параметрах на имитированных гауссовских изображениях при разбиении области изображения на 900 подобластей и усреднении по 200 реализациям. Можно отметить хорошее соответствие теоретических и экспериментальных результатов. Проведенное моделирование показало, что при $T > 200$ распределение $\{P_t, t = \overline{1, T-1}\}$ нормализуется, что позволяет использовать гауссовскую аппроксимацию.

При использовании описанного принципа управления ПГП вычислительные затраты зависят как от типа используемых псевдоградиентных процедур, так и от вычислительных средств, с помощью которых алгоритм реализуется. Рассмотрим только приближенные соотношения, характеризующие в основном суммарное число итераций, выполненных процедурами для достижения заданного результата. Будем считать, что время, необходимое для выполнения одного шага алгоритма, складывается из времени τ_I , затрачиваемого на выполнение процедурой одной итерации, и времени τ_Ψ нахождения процедуры, имеющей наименьшее значение функции штрафа (например, ранжированием значений функций штрафа всех процедур по убыванию и выбором процедуры, лидирующей в этой ранжированной последовательности).

Наиболее просто можно найти вычислительные затраты $E^{(1)}$ на проверку гипотезы об отсутствии искомого фрагмента при заданной вероятности $P^{(1)}$ ошибки первого рода. В этом случае пороговым значением статистического критерия принятия гипотезы является число M_{c1} итераций, выполненных всеми процедурами. Соответственно

$$E^{(1)} = M_{c1} (\tau_I + \tau_\Psi).$$

Если гипотеза отвергнута, то число итераций T_M выбирается, как правило, исходя из требуемой вероятности пропуска фрагмента. Тогда для математического ожидания общих вычислительных затрат E_T можно записать

$$E_T = (\tau_I + \tau_\Psi) \left(T + (N-1) \sum_{t=1}^{T-1} t P_t \right),$$

где P_t – вероятность того, что процедура выполнила t итераций; N – общее число процедур. Если все процедуры достигли T итераций, то вычислительные затраты составят, как минимум

$$E_{TA} = \tau_I T N.$$

Соответственно выигрыш в вычислительных затратах по сравнению со случаем когда все процедуры доводятся до порогового числа итераций определяется соотношением

$$A = \frac{E_{TA}}{E_T} = \frac{TN \frac{\tau_I}{\tau_I + \tau_\Psi}}{T + (N-1) \sum_{t=1}^{T-1} t P_t}. \quad (11)$$

Для примера на рис. 2 приведены графики выигрыша A в вычислительных затратах при $N = 50, 200$ и 1000 , полученные с использованием соотношения (11). При этом предполагалось, что $\tau_\Psi = 0.1 \tau_I$. Видно, что выигрыш зависит от числа N подобластей области определения параметров. Так, при $t = 100$ для $N = 50$ выигрыш $A = 1,6$, для $N = 200$ – $A = 2,5$, для $N = 1000$ – $A = 5,3$.

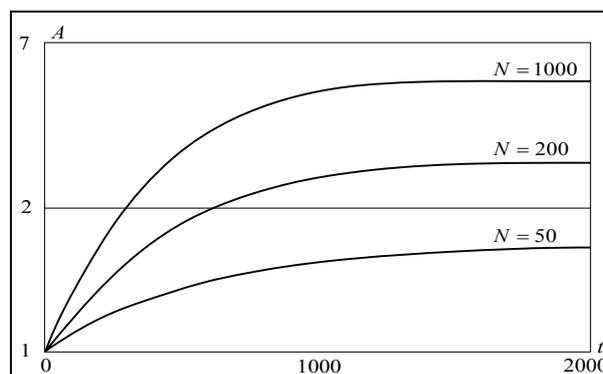


Рис. 2. Выигрыш в вычислительных затратах

5. Заключение

Рассмотренные алгоритмы могут быть непосредственно использованы в различных прикладных задачах обработки цифровых изображений. Они применимы к обработке изображений в условиях априорной неопределенности, предполагают небольшие вычислительные затраты и не требуют предварительной оценки

параметров исследуемых изображений. Формируемые оценки устойчивы к импульсным помехам и сходятся к оптимальным значениям при довольно слабых условиях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 07-01-00138-а).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Gonzalez, R. C.* Digital Image Processing / R. C. Gonzalez, R. E. Woods. – New Jersey: Prentice Hall, 2002. – 1024 с.

2. *Цыпкин, Я. З.* Информационная теория идентификации / Я. З. Цыпкин – М.: Наука. Физматлит, 1995. – 495 с.

3. *Поляк, Б. Т.* Псевдоградиентные алгоритмы адаптации и обучения / Б. Т. Поляк, Я. З. Цыпкин // Автоматика и телемеханика. – 1973, № 3. – С. 45–68.

4. *Ташлинский, А. Г.* Методика анализа погрешности псевдоградиентного измерения параметров многомерных процессов / А. Г. Ташлинский, В. О. Тихонов // Известия вузов: Радиоэлектроника. – 2001, Т. 44, № 9. – С. 75–80.

5. *Tashlinskii, A. G.* Structural Optimization of Pseudogradient Algorithms for Estimating Image Parameters / A. G. Tashlinskii // Pattern Recognition and Image Analysis. 2006, V. 16, № 2. – P. 218–222.

УДК 621.31.001.

Д. В. Кутузов, А. В. Осовский ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОММУТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Астраханский государственный университет (cad@vstu.ru)

Рассматриваются вопросы совершенствования алгоритмов и методов коммутации и создание новых схемотехнических решений, не зависящих от технологической базы.

Ключевые слова: коммутация, схемотехнические решения.

D. V. Kutuzov, A. V. Osovsky SIMULATION MODELING OF PARALLEL SPACE COMMUTATIVE SYSTEM

Questions of algorithms' perfection and methods of switching and creation of the new shemo-technical solutions which are not dependent on technological base are considered.

Switching, shemo-technical solutions.

Традиционно увеличение быстродействия элементов коммутационных систем, как и других устройств, происходит в основном за счет совершенствования технологической базы. В то же время возможно и другое решение – совершенствование алгоритмов и методов коммутации и создание новых схемотехнических решений, не зависящих от технологической базы.

Таким решением для систем коммутации может стать метод распараллеливания процесса установления соединений, который позволил бы увеличить быстродействие и снизить потери при обработке пакетов.

Параллельная коммутационная система [1] обеспечивает параллельную пространственную коммутацию информационных пакетов, поступающих в случайные моменты времени и состоит из следующих блоков (см. рис. 1): блока синхронизации поступающего пакета с моментом идентификации (1), элементов коммутации (2) и блоков генерации тэгов выходных линий (3).

Функционирование системы осуществляется в соответствии со следующим алгоритмом: на вход системы поступают требования на установления соединений. Каждое такое требование представляет собой информационный пакет, имеющий заголовок – тэг, который иден-

тифицирует выходную линию коммутационной системы, на которую необходимо переслать данный пакет. Так как требования на установление соединения (пакеты) поступают на входы системы в случайные моменты времени, то есть асинхронно, а осуществление идентификации возможно лишь в определенные моменты времени, то требование (пакет) должно быть задержано до момента, когда возможно начать сравнение тэгов и коммутацию. Такая задержка осуществляется блоками синхронизации поступающих пакетов с моментом идентификации и может быть различна для пакетов, поступивших в разные моменты времени. Несколько требований (пакетов), ожидающих начала идентификации представляют пачку.

Идентификация представляет собой процесс побитного сравнения тэга линии, к которой необходимо установить соединение (он содержится в пакете), и тэгов выходных линий, генерацию которых производят блоки 3 (рис. 1). При совпадении тэга выходной линии с тэгом, содержащимся в заголовке пакета, соответствующим коммутационным элементом устанавливается соединение для прохождения пакета на выход системы. После прохождения пакета соединение должно быть разрушено. Все функции разрешения конфликтов, которые возни-

кают, например, при попытке двух и более входных линий установить соединение с одной выходной линией возложены на элементы коммутации 2 (рис. 1).

Имитационная модель системы строилась, исходя из того, что параллельная коммутационная система является системой с явными потерями, поступающий поток заявок – пуассоновский с дополнительным параметром – координатой назначения вызова, время обслуживания – детерминированное, дисциплина обслуживания – с явными потерями, каждый элемент коммутации управляется собственным локальным устройством управления. Структура системы коммутации, как системы массового обслуживания представлена на рис. 2.

К входам системы коммутации подключены источники нагрузки (ИН 1...ИН n), которые генерируют требования на обслуживание и создают входную нагрузку системы. Источники нагрузки характеризуются как минимум интенсивностью генерации требований и испрашиваемой продолжительностью обслуживания требований. Все требования, обслуженные системой, составляют обслуженную нагрузку, требования, не обслуженные по каким-либо причинам, составляют потерянную нагрузку.

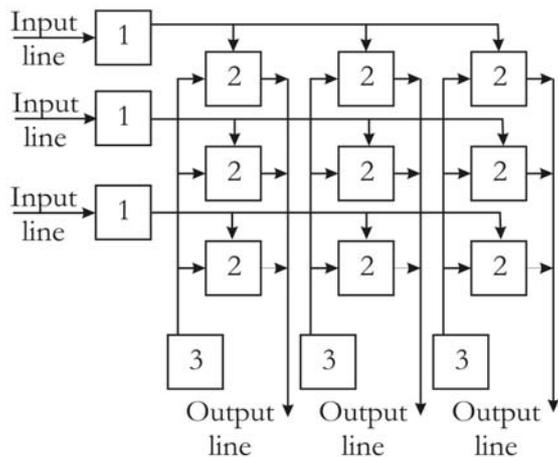


Рис. 1

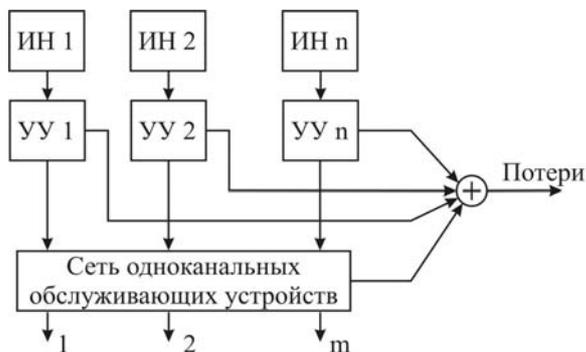


Рис. 2

Несмотря на то, что каждый элемент матрицы коммутации имеет свое локальное устройство управления, их число равно n , а не nm , так как при поступлении требования на i -тый вход системы его обработкой занимаются одновременно все j устройств управления. Поэтому они могут быть представлены как n устройств управления, состоящих из m параллельно работающих элементов.

Рассмотрим некоторые фрагменты модели [2], представленные на языке имитационного моделирования GPSS (в среде GPSS World).

Генерация требований на обслуживание (транзактов) производится модулем генерации, который имеет следующую конструкцию.

```
gener-
ate(Exponential(1,0,Intermes_time))
assign output, FN$output_num
assign message_time, tr_delay
queue qgen_1
depart qgen_1
```

Параметр `Intermes_time` определяет время между поступлением соседних транзактов в единицах модельного времени. Параметру `output` каждого транзакта, созданного генератором присваивается значение номера выхода, к которому необходимо установить соединение. Параметр `message_time` несет информацию о требуемом времени обслуживания данного транзакта. Операция присваивания выполняется блоками `assign`. Для сбора статистических данных процесса генерации транзактов служат блоки `queue` и `depart`. С их помощью организуется очередь `qgen_1`. Поскольку в системе GPSS World сбор статистических данных для блоков очередей производится автоматически, то все требования сгенерированные блоком `generate` будут учитываться блоками `queue` и `depart`. Очередь `qgen_1` не имеет задержки и не позволяет транзактам скапливаться. Каждое требование, попавшее в блок `queue` беспрепятственно и без задержки покидает очередь `qgen_1` с помощью блока `depart`.

Устройства управления объединены с соответствующими коммутационными модулями:

```
link sync, fifo
sync_label transfer, P$output
out_1 queue q_control_unit_1
gate LR out_1_1, poteri
logic S out_1_1
seize control_unit_1
depart q_control_unit_1
advance control_unit_delay
release control_unit_1
queue qout_1
seize output_unit_1
depart qout_1
advance P$message_time
release output_unit_1
logic R out_1_1
terminate 0
```

Имитация занятия устройства управления производится блоком `seize control_unit`. Данный блок при попадании в него требования заставляет устройство управления перейти из состояния "свободно" в состояние "занято", что не позволит другим требованиям войти в него, пока оно вновь не перейдет в свободное состояние. Все требования, попытавшиеся выход в момент, когда он уже осуществляет обработку требования, считаются потерянными. Это обеспечивается логическим блоком `gate LR out_l_1, poteri` который проверяет состояние логического переключателя `out_l_1`, и в случае, если он установлен, то есть устройство управления уже занято, транзакт отправляется в блок `poteri`. Если выход свободен, то происходит установка в единицу логического переключателя `out_l_1`, которая выполняется блоком `logic S out_l_1` и обработка поступившего требования. После обработки требования логический переключатель `out_l_1` будет сброшен в нуль блоком `logic R out_l_1`. Для учета транзактов, прошедших через блок управления служат блоки `queue` и `depart`. Блок `advance` служит для задержки требования на время `control_unit_delay`. Блок `release` позволяет освободить выход после обслуживания очередного транзакта.

Подсчет требований прошедших через устройство ведется автоматически, кроме того, вычисляется коэффициент использования устройства.

Сбор статистических данных потерянных транзактов осуществляется модулем `poteri`. Он представляет собой устройство, которое принимает любое число поступивших в него транзактов и уничтожает их. В блоке невозможно образование очереди, так как время обслуживания транзакта данным блоком равно нулю.

```
poteri      queue q_poteri
           seize poteri_unit
           depart q_poteri
           release poteri_unit
           terminate 0
```

Особенностью модели параллельной коммутационной системы от моделей коммутационных систем с последовательной настройкой (с централизованным управлением) является наличие блока синхронизации поступающих требований с моментами идентификации, который реализуется следующей конструкцией:

```
generate sync_cic1
unlink sync, sync_label, all
terminate
...
link sync, fifo
sync_label transfer, P$output
```

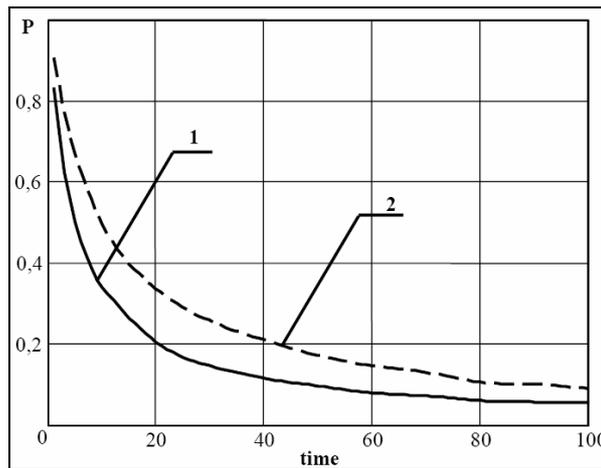


Рис. 3

В приведенном фрагменте модели роль входного блока, осуществляющего задержку транзактов до момента идентификации, играет блок списка `link sync, fifo`. Моменты идентификации реализуются генератором требований идентификации `generate sync_cic1`, который генерирует требования идентификации через время `sync_cic1`. Требования идентификации при попадании в блок `unlink sync, sync_label, all` освобождают все требования, находящиеся в списке `sync` и передают их для дальнейшей обработки в блок `transfer, P$output`.

На рис. 3 представлены графики зависимости вероятностей потерь пакетов (P) от среднего (модельного) времени между поступлением пакетов.

По результатам моделирования [3] параллельной коммутационной системы можно сделать вывод об уменьшении вероятности потерь по сравнению с системой, осуществляющей последовательную коммутацию. График 1 на рис. 3 соответствует параллельной системе коммутации, график 2 – последовательной (системе с централизованным управлением).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кутузов Д. В. Параллельная настройка матричной коммутационной системы при динамически поступающих требованиях // Техника и технология. – 2005. – № 2(8). – С. 57–59.
2. Свид. о офиц. рег. ПрЭВМ № 2005611003. Имитационные модели матричных коммутаторов / А. П. Лунев, И. Ю. Петрова, Д. В. Кутузов, А. В. Осовский; правообладатель Астраханский гос. ун-т.
3. Denis Kutuzov, Alexey Osovskiy. The Structure and Modeling Results of the Parallel Spatial Switching System / IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2007). Proceedings. – Tomsk: The Tomsk IEEE Chapter & Student Branch. Russia, 2007. – Pp. 99–103.

УДК 681.324(048.8)

В. С. Лукьянов, Д. Г. Влазнев

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА ЕЖИ-ВИЛЬЯМСА
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТОПОЛОГИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ
С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ, НАЛАГАЕМЫХ ИСПОЛЬЗУЕМЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ
И ОГРАНИЧЕНИЙ, НАЛАГАЕМЫХ НА ПРИМЕНЯЕМЫЕ КАНАЛЫ СВЯЗИ**

Волгоградский государственный технический университет (ecmsys@vstu.ru)

Предложено использование модификации классического алгоритма Ежи-Вильямса для решения задачи определения оптимальной структуры древовидной конфигурации вычислительных сетей.

Ключевые слова: эвристические методы проектирования, конфигурация вычислительных сетей.

V. S. Lukyanov, D. G. Vlaznev

**FEATURES OF APPLICATION OF ALGORITHM EZHY-VILJAMSA AT DESIGNING
OF TOPOLOGY OF THE COMPUTER NETWORK TAKING INTO ACCOUNT
THE RESTRICTIONS IMPOSED BY THE USED EQUIPMENT AND RESTRICTIONS,
IMPOSED ON APPLIED COMMUNICATION CHANNELS**

Use of updating of classical algorithm Ezhy-Viljamsa for the decision of a problem of definition of optimum structure of a treelike configuration of computer networks is offered.

Designing heuristic methods, configuration of computer networks.

Большая размерность современных проводных сетей по числу узлов и соединений обусловила использование эвристических методов проектирования, базирующихся на методах Прима, Ежи-Вильямса и их модификациях. Следует отметить, что существующие методы не учитывают различные особенности и ограничения на применяемые узлы и соединительные тракты.

Постановка задачи

Задача определения оптимальной структуры древовидной конфигурации сетей может быть сформулирована следующим образом:

Задано:

1) множество узлов a_i ($i=1, 2, \dots, N$) проектируемой сети, среди которых узлы с номерами $i=1..k$ ($k \ll N$) соответствуют центрам коммутации, а каждый узел с номером $i \geq k+1$ характеризуется требуемой интенсивностью λ_i потока сообщений;

2) полный граф связей m_{ij} , которыми могут соединяться узлы сети a_i, a_j , каждая связь характеризуется метрической длиной (либо стоимостью) m_{ij} и допустимой пропускной способностью P_{ij}^0 .

Требуется определить: древовидную конфигурацию сети, которая удовлетворяет ограничением на потоки в дугах и имеет наименьшую суммарную длину связей (стоимости связей) и наименьшую стоимость коммутационного оборудования, находящегося в узлах. Условие древовидности записывается в виде:

$\sum_{i=k+1}^N x_{ij} = 1$ – из каждого узла, кроме $i=1..k$ выходит только одна связь

Выбор алгоритма-прототипа

В настоящее время в практических исследованиях широкое применение нашли два метода определения оптимальной структуры древовидной конфигурации: методы Прима и Ежи-Вильямса. Последний метод, по материалам анализа ряда исследователей [2, 3] дает решение, отличающееся от оптимальных значений на величину не более 5–10 % [2]. По причине этого в качестве алгоритма прототипа был выбран алгоритм Ежи-Вильямса. Ниже приводятся дополнительные ограничения, типичные для современных проводных сетей и влияющих на топологическую структуру соединений и предлагаются способы их учета при проектировании сети.

Ограничения, налагаемые используемым оборудованием

Первая из рассматриваемых особенностей связана с конечной длиной линии связи, обуславливаемой величиной ослабления мощности передаваемого по ней сигнала. Известны, например, допустимые длины оптоволоконных линий связи и, связанная с этим, необходимость установки ретрансляторов в общем тракте большой протяженности. От длины проводного соединения зависит скорость передачи информации по модемам и т. д. [4]. Классический алгоритм Ежи-Вильямса не предполагает возможного удорожания линии связи при превышении ею максимально допустимой длины. Удорожание обусловлено необходимостью установки повторителя на данную линию связи. Поскольку алгоритм

Ежи-Вильмса предполагает коммутацию текущего узла к ближайшему, уменьшение длины линии связи не представляется возможным. Предлагается в зависимости от длины соединения корректировать его стоимость с учетом дополнительной стоимости ретранслятора. Корректировка производится на тех шагах проектирования, когда расстояния от всех узлов, не входящих на данном шаге во фрагмент проектируемой сети, превышает допустимую протяженность.

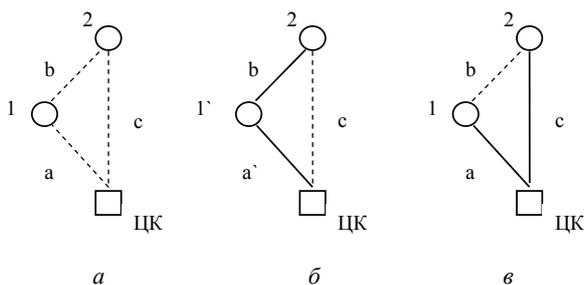


Рис. 1.

Вторая особенность связана с тем, что классический алгоритм Ежи-Вильмса не предполагает учета стоимости коммуникационного оборудования узлов [1]. Особое внимание стоит обратить на осложнения, возникающие в процессе проектирования вследствие изменяющейся стоимости соединений, узлов и ретрансляторов в зависимости от принимаемых решений.

Например, на рис. 1а стоимость предполагаемых соединений $a < c$, $b < c$ и структура фрагмента такой сети будет соответствовать рис. 1б. Однако, необходимо отметить ряд важных моментов:

стоимость узла $1'$ может увеличиться из-за необходимости использования более дорогостоящего оборудования с большим количеством портов подключения;

стоимость соединения a' может увеличиться в связи с необходимостью пропускать на этом тракте дополнительные потоки информации от узла 2.

Вполне возможна ситуация, когда дополнительная стоимость тракта $b + (1' - 1) + (a' - a) > c$. Тогда экономически целесообразной будет структура, изображенная на рис. 1в. Предлагается вести учет стоимости коммуникационного оборудования узлов в ходе проектирования, исходя из усредненной величины "стоимость порта подключения". В предлагаемом варианте, т. к. каждый вновь подключаемый узел, присоединяемый к ближайшему узлу проектируе-

мого фрагмента сети, требует увеличения стоимости остальных узлов и соединений общего тракта передачи, следует рассматривать другие варианты соединений.

Ограничения, налагаемые на стоимость линий связи

Первая проблема связана с тем, что классический алгоритм Ежи-Вильмса предполагает, что стоимость единицы длины линии связи неизменна для всей проектируемой сети. На практике это не так, по нескольким причинам. Стоимость единицы длины линии связи может значительно различаться для различных участков проектируемой сети. Во-первых, стоимость единицы длины линии связи зависит от способа прокладки кабеля. Например, стоимость укладки кабеля в траншею и стоимость прокладки кабеля путем установки опор и подвеса кабеля к опорам будет различаться. Во-вторых, следует учитывать географию местности, по которой планируется вести прокладку кабеля. Так, стоимость единицы длины линии связи в кабеле, прокладываемом вдоль существующей автострады, будет существенно меньше стоимости единицы длины линии связи в кабеле, перекинутом через реку. Для решения этой проблемы предлагается разделить территорию, на которой находится проектируемая сеть на зоны условно равной стоимости прокладки единицы длины линии связи. Модифицированный алгоритм Ежи-Вильмса, на этапе расчета стоимости линии связи должен формировать стоимость исходя из того, над какой зоной располагается вновь прокладываемая линия связи. Линия связи может пересекать несколько зон и стоимость линии связи должна складываться из суммарной стоимости участков, проходящих по разным зонам. При этом может возникнуть ситуация, в которой более длинная линия связи будет иметь меньшую стоимость, нежели более короткая.

Пример применения подобного подхода изображен на рис. 2. На рисунке выделены три зоны условно равной стоимости прокладки единицы длины линии связи. Окружностями обозначены узлы проектируемой сети, прямоугольником – центр коммутации. При этом возможна модификация алгоритма, в ходе которой появится возможность использовать не прямые линии связи, с целью минимизации стоимости прокладки кабеля в обход зон с высокой стоимостью прокладки линии связи. В простейшем случае это может быть ломаная линия.

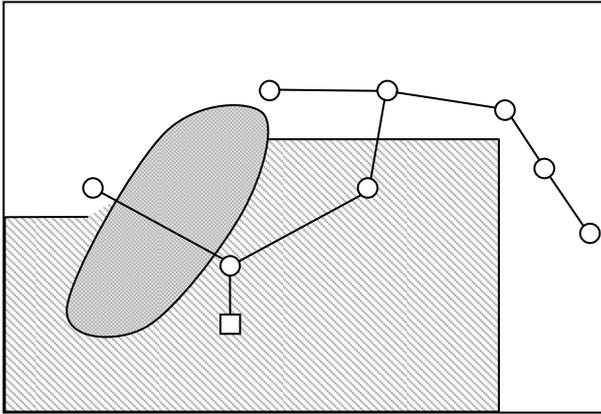


Рис. 2. Пример разбиения территории под проектируемой сетью на зоны условно равной стоимости прокладки единицы длины линии связи.

Использование существующей инфраструктуры каналов укладки кабеля

Вторая проблема связана с тем, что классический алгоритм Ежи-Вильямса не предполагает при проектировании учитывать созданную в настоящее время обширную инфраструктуру каналов укладки кабеля [1]. Так как требуется проектирование сетей большого масштаба (город, регион) следует обращать особое внимание на возможность использования данной инфраструктуры, т. к. это позволит значительно уменьшить конечную стоимость проектируемой сети. При этом необходимо минимизировать длину вновь прокладываемых каналов и максимально использовать существующие каналы укладки кабеля при проектировании новой сети.

Данную проблему предполагается решать способом, предложенным выше. Существующие каналы укладки кабеля следует нанести на территорию проектируемой сети, как зоны с меньшей (по сравнению с другими зонами) стоимостью прокладки единицы длины линии связи. При этом использование модификации классического алгоритма Ежи-Вильямса в варианте, способном работать с ломаными линиями связи, позволит задействовать существующие каналы укладки кабеля, там, где это целесообразно.

но. "Ложным" удешевлением линии связи, возникающим при пересечении линией связи зоны канала укладки кабеля (удешевление неизменно будет возникать, т. к. стоимость линии связи равна сумме стоимостей ее участков, проходящих по разным зонам) можно будет пренебречь по причине очень малой ширины зоны канала укладки кабеля.

На рис. 3а, 3б штриховкой показана зона существующего канала укладки кабеля и может возникнуть ситуация, когда экономически более целесообразно прокладка кабеля по схеме, показанной на рис. 3б, нежели по схеме на рис. 3а, т. к. укладка кабеля в существующий канал существенно дешевле прокладки нового канала.

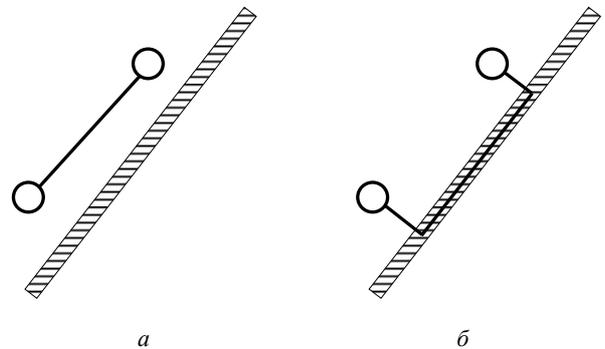


Рис. 3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукьянов В. С., Влазнев Д. Г. Определение оптимальной структуры древовидной конфигурации сети с несколькими центрами коммутации. – Региональный вестник молодых ученых, № 3/4 (6), 2005.
2. Мартин, Дж. Системный анализ передачи данных: Пер. с англ. под ред. В. С. Лапина. – М.: Мир, 1975.
3. Мясников, В. А. Методы автоматизированного проектирования систем телеобработки данных / В. А. Мясников, Ю. Н. Мельников, Л. И. Абросимов: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
4. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб: Издательство "Питер", 2000. – 672 с.: ил.

МЕТОДИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 669.14:539.431

А. Н. Савкин

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯННОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ СТАЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛНОТЫ СПЕКТРА ВНЕШНЕГО НЕРЕГУЛЯРНОГО НАГРУЖЕНИЯ, АППРОКСИМИРОВАННОГО БЛОЧНОЙ НАГРУЗКОЙ

Волгоградский государственный технический университет (tfpic@vstu.ru)

Рассматривается проблема применения математических моделей для изучения повреждений сталей при нерегулярной нагрузке.

Ключевые слова: математическая модель, повреждения сталей, нерегулярное нагружение.

A. Savkin

MODELING DISSEMINATED DAMAGES OF STEEL DEPENDING ON COMPLETENESS OF A SPECTRUM EXTERNAL NOT REGULAR LOADINGS, APPROXIMATED BY BLOCK LOADING

The problem of application of mathematical models for studying of damages of steel at not regular loadings is considered. Mathematical model, damages of steel, not regular loadings.

Наличие в детали или конструкции в каком-либо месте при переменном нагружении напряжений выше предела выносливости предполагает необходимость оценки обеспеченности в техническом элементе заданной долговечности. В первом приближении ответ по этому вопросу можно получить на основании базовой кривой усталости при одноступенчатом циклическом нагружении или кривой Хейга, где силовыми параметрами являются амплитудное и среднее напряжение цикла, а долговечность оценивается по суммарному числу циклов нагружения до разрушения или появлению первых признаков возникновения трещины. Действие напряжения в конструкциях и деталях при эксплуатации носит, как правило, случайный характер. Величина и вид изменения этих напряжений под действием внешних нагрузок определяет степень вызываемых ими повреждений, и приводит к снижению первоначально присущей конструкции долговечности. Если для проектируемой конструкции важным элементом является ее экономичность и максимальная облегченность, что достигается снижением коэффициентов запаса прочности, то предпочтительной для достижения этой цели является определение прочностных свойств, необходимых для расчета конструкций и деталей, в экспериментах с максимальным приближением к эксплуатационным условиям. Оценка эксплуатационной долговечности предполагает ее определение на основании моделирования случайной функции внешнего нагружения, характеризующей основные этапы ее эксплуатации, и испытание конструкции блоковой на-

грузкой. Блоковая нагрузка, как правило, описывает характерный вид нагружения детали или конструкции в период нормальной эксплуатации за определенный промежуток времени. Это также предполагает разработку расчетных методов прогнозирования долговечности и надежности исследуемых деталей и конструкций при стохастическом или блоковом нагружении на основании выдвинутых моделей суммирования повреждений.

Существуют аналитические модели в той или иной мере отражающие процесс накопления повреждений, протекающих в материале при циклическом нагружении [1–6], поэтому большое значение представляет определение областей их применимости. Это особенно касается линейного подхода к расчету повреждений, которой является наиболее простым и упрощенным описанием накопления повреждений при эксплуатационной нагруженности.

Целью настоящей работы является анализ моделей и методов, способствующих более точному прогнозированию долговечности изделий и ее элементов в процессе эксплуатации для обеспечения их высокой надежности и конкурентоспособности.

Для оценки долговечности деталей или агрегатов технического изделия необходимо получить функцию их нагружения в условиях рядовой эксплуатации при выполнении технологического цикла. Из опыта следует, что многие наблюдаемые функции нагружения можно приближенно аппроксимировать известными законами распределения [7]. Однако, это не всегда возможно, поэтому, как было отмечено

в работе, более точным представлением функции нагружения является ее представление в виде ступенчатой гистограммы (блочной нагрузки), обобщающей характерные этапы функционирования технического объекта. В том числе можно представить в виде блочной нагрузки и известные статистические законы распределения [8]. На это указывает ГОСТ 25,507-85. По этому ГОСТУ различие спектров нагружения (рис. 1) для блок-программных испытаний предлагается оценивать с помощью меры полноты спектра V , определяемой по формуле:

$$V = \left[\frac{1}{v_0} \left[\sum_{i=1}^r v_{ai} \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a \max}} \right)^m \right] \right]^{\frac{1}{m}} \quad (1)$$

или изменением коэффициента гаснеровского спектра нагружения [9], определяемого по соотношению минимальных $\sigma_{a \min}$ и максимальных $\sigma_{a \max}$ значений напряжений, аппроксимирующих исследуемое нерегулярное нагружение в виде программного блока по соотношению:

$$p = \frac{\sigma_{a \min}}{\sigma_{a \max}}, \quad (2)$$

где v_{ai} , v_0 – число циклов i -й ступени и блока нагружения; r – число ступеней в блоке нагружения; m – параметр исходной кривой выносливости вида

$$\sigma_a^m N = \sigma_{-1}^m N_0. \quad (3)$$

В табл. 1 представлены характеристики спектров нагружения указанные на рис. 1 и аппроксимированных блочной нагрузкой.

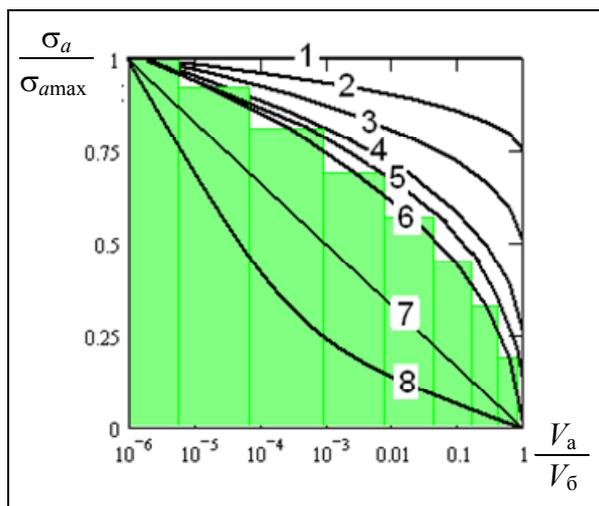


Рис. 1. Схематизация спектров случайного внешнего нагружения (номера спектров, соответствуют их видам по табл. 1)

Таблица 1

| № п/п | Схема спектра | Наименование распределения | p | V |
|-------|---------------|--|-------|-------|
| 1 | 1 | Одноступенчатое нагружение | 1 | 1 |
| 2 | 2 | Приближенно | 0,75 | 0,817 |
| 3 | 3 | Нормальное | 0,5 | 0,638 |
| 4 | 4 | Распределение | 0,25 | 0,472 |
| 5 | 5 | Распределение Рэлея | 0,125 | 0,368 |
| 6 | 6 | Нормальное распределение | 0,0 | 0,331 |
| 7 | 7 | Экспоненциальное распределение | – | 0,222 |
| 8 | 8 | Приближенно логарифмически- нормальное распределение | – | 0,1 |

Для испытания и расчета спектр эксплуатационных нагрузок заменяют эквивалентными ступенчатыми блоками при стационарном нагружении (программным блоком). На рис. 1 показан такой программный блок нагружения по нормальному закону распределения (заштрихованная область).

Кроме характеристик сопротивления усталости материала и спектра его нагруженности (блочной нагрузки) для оценки детали необходима информация о закономерностях накопления повреждений. Остановимся на моделях феноменологического и полуфеноменологического типа, как наиболее простых и требующих для применения минимального количества входных параметров.

По линейной модели суммирование повреждений в материале и при переменной в виде блочной нагрузки, определяется как

$$D_{r,l} = \sum_{i=1}^r \bar{n}_i, \quad (4)$$

где $i=1 \dots r$ – число ступеней в блоке нагружения, $\bar{n}_i = n_i / N_i$ относительная долговечность работы материала на i -й ступени нагружения. Условие разрушения по этой модели

$$\sum_{j=1}^{\lambda} \left(\sum_{i=1}^{r^*} \bar{n}_i \right) = 1, \quad (5)$$

где λ – предельное число блоков нагружения до разрушения.

Модель Серенсена-Когаева также основана на линейном принципе суммирования. Корректировка проводится по предельному состоянию с учетом программности нагружения

$$\sum_{j=1}^{\lambda} \left(\sum_{i=1}^{r^*} \bar{n}_i \right) = a_p, \quad (6)$$

$$a_p = \frac{\sigma_{a \max} \sum_{i=1}^{r^*} (\sigma_{ai} / \sigma_{a \max}) v_{ai} / v_{\sigma}^* - \kappa \sigma_{-1}}{\sigma_{a \max} - \kappa \sigma_{-1}},$$

где a_p – коэффициент нестационарности или программности нагружения; σ_{ai} , $\sigma_{a \max}$ – амплитудное и максимальное напряжение блока нагружения; r , v_{σ} – число ступеней и число циклов в блоке нагружения; r^* , v_{σ}^* – число ступеней и число циклов в блоке нагружения при отбрасывании ступеней с $\sigma_{ai} < \kappa \sigma_{-1}$ (κ – коэффициент снижения предела выносливости при циклическом нагружении). r^{**} – число ступеней нагружения при $\sigma_{ai} > \sigma_{-1}$. Предлагают [7] величину $\kappa = 0,5 \div 0,6$.

Другое направление модернизации линейной модели суммирования представлено моделью Кортена-Долана [3]. Оценку долговечности по этой модели осуществляют на основании вторичной кривой выносливости, пересекающей с базовой на уровне максимального амплитудного напряжения $\sigma_{a \max}$ рассматриваемого спектра нагружения. Тангенс угла наклона такой вторичной кривой равен $1/d$, и она продолжается прямолинейно в область ниже исходного предела выносливости. Имеются сведения [3], что величина, обратная коэффициенту наклона d для сталей, имеющих отношение предела текучести к пределу выносливости $1,2 \div 1,5$, составляет $0,6 \div 0,9$ от соответствующей характеристики исходной кривой выносливости.

Суммарное число циклов нагружения может быть представлено выражением

$$N_{\Sigma} = \frac{N_o}{n_p^m} \sum_{i=1}^r (\sigma_{ai} / \sigma_{a \max})^{fm} v_{ai} / v_{\sigma}, \quad (7)$$

где $n_p = \sigma_{a \max} / \sigma_{-1}$ – коэффициент относительного уровня нагруженности материала; $f = m/d$ – поправочный коэффициент наклона расчетной кривой выносливости; N_o , m – параметры исходной кривой выносливости в двойных логарифмических координатах (3).

По нелинейной модели суммирования усталостных повреждений в блоке нагружения будет [4]

$$D_{rn} = \left\{ \left[(\bar{n}_1^{\alpha_1} + \bar{n}_2)^{\alpha_2} + \bar{n}_3 \right]^{\alpha_3} + \dots \bar{n}_{r^*} \right\}^{\alpha_{r^*}}, \quad (8)$$

где коэффициент влияния на поврежденность истории нагружения и наследственных свойств материала для i -й ступени нагружения можно представить как [10]

$$\alpha_i = \frac{\frac{\sigma_{ai+1}}{\sigma_{ai}} - 1}{\frac{\kappa \sigma_{-1}}{\sigma_{ai}} - 1} \left(\frac{\sigma_{ai+1}}{\sigma_{ai}} \right)^{\beta}. \quad (9)$$

Коэффициент α зависит от соотношения двух следующих друг за другом амплитуд нагружения, β – структурно-чувствительный параметр материала, характеризующий его наследственные свойства [11]. Последний показатель степени α_{r^*} зависит только от одного значения напряжения последней ступени в блоке нагружения. Для упрощения дальнейших математических расчетов можно исключить последнюю ступень в блоке нагружения с напряжением $\sigma_{ai} > \kappa \sigma_{-1}$. Тогда для блока нагружения коэффициент нелинейности может быть представлен

$$a_n = \frac{D_{rn}}{D_{rl}} = \frac{\left\{ \left[(\bar{n}_1^{\alpha_1} + \bar{n}_2)^{\alpha_2} + \bar{n}_3 \right]^{\alpha_3} + \dots \bar{n}_{r^*} \right\}^{\alpha_{r^*}}}{\sum_{i=1}^{r^*} \bar{n}_i}. \quad (10)$$

Условие разрушения при программном нагружении с учетом нелинейности, истории нагружения и наследственных свойств материала будет выглядеть как

$$\sum_{j=1}^{\lambda} \left(\sum_{i=1}^{r^{**}} \bar{n}_i \right) = a_n a_p. \quad (11)$$

Общее число циклов нагружения с учетом нелинейного характера накопления повреждений и линейного описания базовой кривой выносливости в двойных логарифмических координатах при представлении функции нагружения блочной нагрузкой будет [12]:

$$N_{\Sigma} = \frac{N_o a_n a_p \sigma_{-1}^m}{\sigma_{a \max}^m \sum_{i=1}^{r^{**}} \frac{\sigma_{ai}^m}{\sigma_{a \max}^m} \frac{v_{ai}}{v_{\sigma}}} = \frac{N_o a_n a_p}{n_p^m \sum_{i=1}^{r^{**}} \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a \max}} \right)^m \frac{v_{ai}}{v_{\sigma}}}. \quad (12)$$

Задаваясь значением коэффициента нагруженности n_p , а также известными значениями коэффициента вариации по пределу выносливости $\vartheta_{\sigma_{-1}} = 0,1$ и максимальной амплитуды блока нагружения $\vartheta_{\sigma_a} = 0,1$ нетрудно по известным зависимостям [13] оценить вероятность разрушения материала P . Последнее выражение скорее относится к модернизации линейной модели. Учет нелинейности осуществляется за счет корректировки предельного значения меры повреждения на момент разрушения.

Проверку полученных зависимостей проводим по экспериментальным данным работы [14], носящей обзорный характер по сравнительной экспериментальной оценки долговечности различных конструкционных сталей при регулярном и нерегулярном нагружении. В табл. 2 представлены характеристики прочности и выносливости исследуемых материалов. Циклическое нагружение осуществлялось в области многоциклового усталости. Значения $\sigma_{a \max}$ принимались меньше предела текучести материала, поэтому вопросы, связанные со сменой механизма усталостного разрушения не рассматривались, в том числе и приводящие к перелому кривой выносливости на больших базах нагружения [15].

Результат расчета при программном нагружении усталостной долговечности конструкционных сталей ($p=0$, позиция 1–3 табл. 2) на основании исходных кривых выносливости при регулярном нагружении показан на рис. 2. В качестве примера, здесь представлены кривые долговечности для стали 41Cr4 и стали Ni-Co-Mo 18/7/5 по различным моделям суммирования.

Так, на основании линейной модели построена кривая 3 по формуле (5), по линейной модели с учетом истории и программности нагружения – кривая 4 по формуле (12), по скорректированной модели Серенсена-Когаева – кривая 5 по формуле (6), а также модели Кор-

тена-Долана – кривая 6 по формуле (7) при $f=1,3$. Как видно из рисунка, лучшие результаты для исследуемых сталей показали линейная модель (5) и модель Кортена-Долана (7), удовлетворительные – модели с учетом истории нагружения и программности (12) и Серенсена-Когаева (6).

Это свидетельствует, что при нерегулярном нагружении исследуемых сталей в условиях концентрации напряжений на показанных базах испытаний влияние истории нагружения и учет программности нивелируются. Аналогичное сравнение было проведено и по испытанию стали St37 в виде коробчатого образца на циклический изгиб (рис. 3) с регулярным ($p=1,00$) и нерегулярным ($p=0,5$; $p=0,25$ и $p=0,00$) циклическим нагружением. Экспериментальные данные показали, что изменение полноты спектра нерегулярного нагружения, определяемые коэффициентом p (2) или V (1), смещают кривую выносливости, определяемую максимальным амплитудным напряжением спектра $\sigma_{a \max}$, как и предыдущем опыте вправо, в сторону увеличения долговечности до разрушения. Кривая выносливости для полноты спектра с $p=0,50$ проведена на основании испытаний на 3-х уровнях $\sigma_{a \max}$, которая примерно параллельна ветви ограниченной долговечности исходной кривой выносливости.

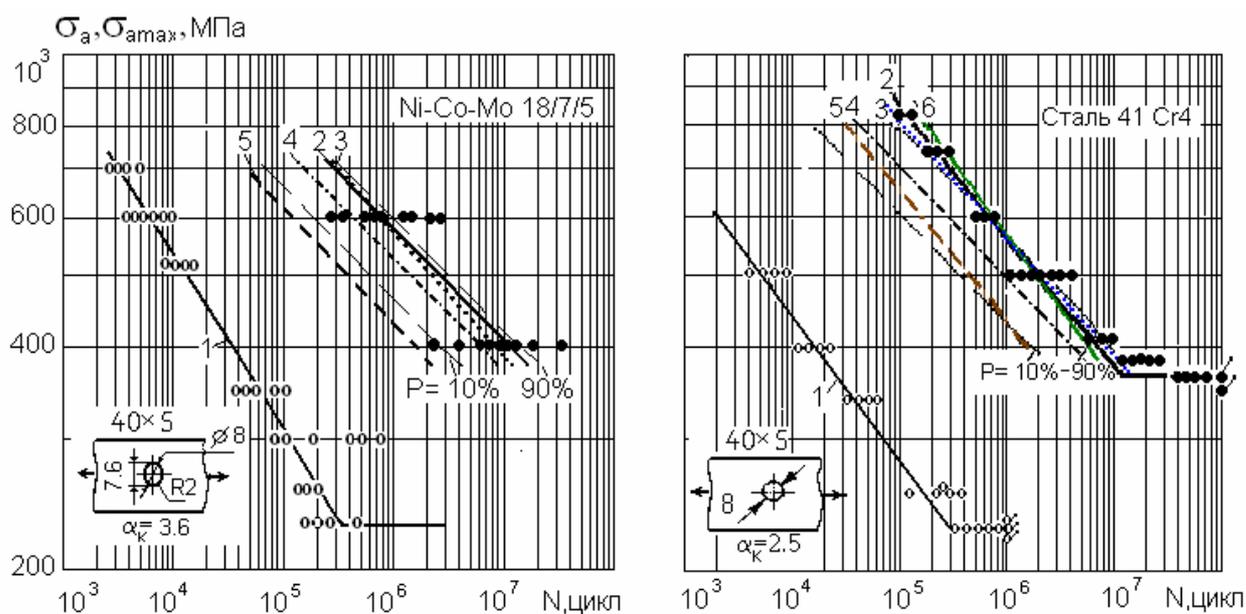


Рис. 2. Регрессионные кривые долговечности стали 41Cr4 и Ni-Co-Mo 18/7/5 при регулярном и нерегулярном нагружении: 1 – базовая кривая выносливости; 2 – экспериментальная кривая выносливости, соответствующая случайному внешнему нагружению по нормальному закону распределения. Результаты расчета по линейной (3), линейной с учетом истории нагружения (4) и скорректированной линейной модели суммирования повреждений (5), по модели Кортена-Долана (6)

Таблица 2

| № п/п | Марка стали | Коэффициент концентрации a_c | Характеристики прочности | | Характеристики выносливости | | |
|-------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------|------------------|
| | | | Предел прочности σ_b , МПа | Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа | σ_{-1} , МПа | m | N_0 цикла |
| 1 | Сталь Ni-Co-Mo 18/7/5 | 3,6 | 1900 | 1800 | 225 | 4,5 | $2,5 \cdot 10^5$ |
| 2 | Сталь 41Cr4 | 2,5 | 1060 | 925 | 231 | 5,0 | $2,5 \cdot 10^5$ |
| 3 | Сталь 1.7704.6 | 3,6 | 1340 | 1190 | 180 | 3,7 | $1,5 \cdot 10^5$ |
| 4 | Сталь St 37 (коробчатый образец) | 3,5 | – | 240 | 58 | 4,45 | $2 \cdot 10^6$ |

Результаты для полноты спектра $p = 0,25$ и $p = 0$ представлены для двух уровней. Повышение уровня нагружения было невозможно в виде приближения к пределу текучести материала $\sigma_{0,2} = 240$ МПа. Получение результатов при более низких напряжениях затруднено ввиду большой длительности испытаний при числе циклов до разрушения более 10^7 циклов. Расчетные кривые при нерегулярном нагружении показаны на рис. 3 следующими моделями: модель Кортене-Долана (кривая 1), линейная модель (кривая 2); линейная модель с учетом истории и программности нагружения (кривая 3), модель Серенсена-Когаева (кривая 4). Лучшие результаты, также как и в предыдущем примере, показала линейная и модернизированная линейная модель суммирования повреждений с учетом истории и программности, а также модель Кортене-Долана. Следует отметить, что все модели правильно определяют характер влияния полноты спектра нерегулярного нагружения на долговечность материала.

Расчетные кривые при нерегулярном нагружении показаны на рис. 3 следующими моделями: модель Кортене-Долана (кривая 1), линейная модель (кривая 2); линейная модель с учетом истории и программности нагружения (кривая 3), модель Серенсена-Когаева (кривая 4). Лучшие результаты, также как и в предыдущем примере, показала линейная и модернизированная линейная модель суммирования повреждений с учетом истории и программности, а также модель Кортене-Долана. Следует отметить, что все модели правильно определяют характер влияния полноты спектра нерегулярного нагружения на долговечность материала. Расхождение расчетных и экспериментальных данных свидетельствуют о том, что в моделях повреждения принимается постоянство наклона кривых выносливости m в зависимости от характеристик нерегулярности спектра, что не всегда соответствует действительности. Изменение этого параметра при нерегулярном нагружении может представляться более сложной зависимостью, требующей своего отдельного исследования. Дополнительно на графиках показаны линии вероятности P рассеяния результатов расчета долговечности по модернизированной линейной модели вида (12) при $P = 10-90\%$. Проведенный анализ оценки долговечности конструкционных сталей при нерегулярном нагружении по различным моделям суммирования усталостных повреждений показал наличие связи параметров долговечности и полноты спектра нерегулярного нагружения. Представляет интерес прогноза долговечности материала при нерегулярном нагружении на основании базовой кривой усталости при регулярном нагружении и характеристик нерегулярного нагружения. По имеющимся экспериментальным данным работы [14] в первом приближении можно проводить оценку долговечности материала при нерегулярном нагружении по эмпирической зависимости вида:

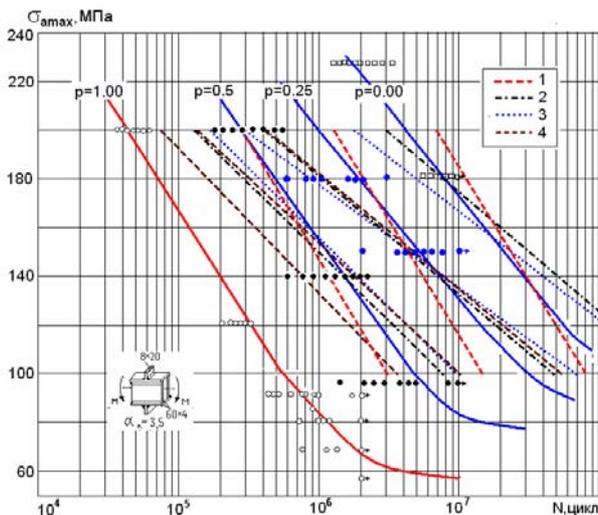
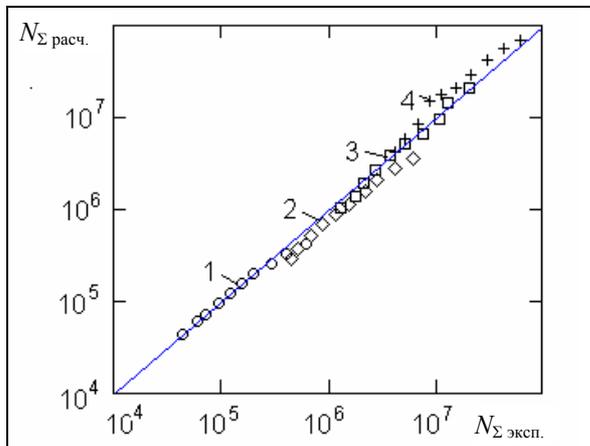


Рис. 3. Результаты эксперимента и расчета долговечности стали St37 (коробчатые образцы) при регулярном ($p = 1,00$) и нерегулярном ($p = 0,5; p = 0,25; p = 0,0$) переменном нагружении: 1 – модель Кортене-Долана; 2 – линейная модель; 3 – линейная модель с учетом истории и программности нагружения; 4 – модернизированная линейная модель Серенсена-Когаева

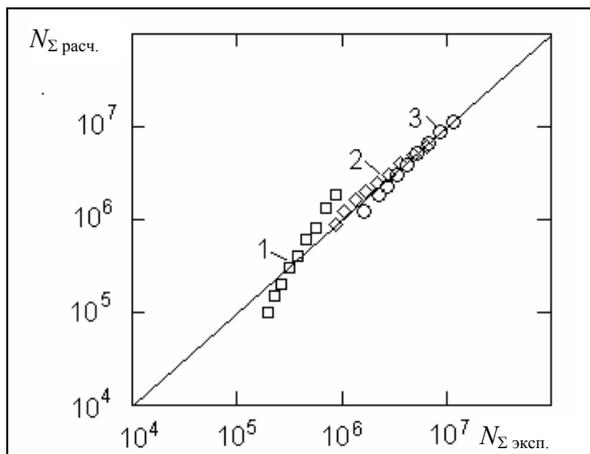
$$N_{\Sigma_i} = \frac{mN_o 10^{c(1-V)}}{(\sigma_{ai}/\sigma_{-1})^m}, \quad (13)$$

где c – эмпирически определяемый структурно-чувствительный параметр материала. В основе формулы (13) лежит кривая базовой выносливости материала в форме (3). На рис. 4 показана взаимосвязь расчетных $N_{\Sigma_{\text{расч.}}}$ и экспериментальных $N_{\Sigma_{\text{эксп.}}}$ значений долговечности в зависимости от меры полноты спектра блочно-программного нагружения для исследованных сталей. Расчет проводился по формуле (13).

Расчетные данные получали на основании экспериментальных регрессионных кривых выносливости при нерегулярном нагружении. Значения структурно-чувствительных параметров сталей, испытываемых при регулярном и нерегулярном нагружении представлены в табл. 3.



а



б

Рис. 4. Взаимосвязь расчетных $N_{\Sigma_{\text{расч.}}}$ и экспериментальных $N_{\Sigma_{\text{эксп.}}}$ значений суммарной долговечности по эмпирической зависимости (13) от меры полноты спектра блочно-программного нагружения V :

а – сталь St37 (1 – $p = 1.0$; 2 – $p = 0.5$; 3 – $p = 0.25$; 4 – $p = 0.0$); б –

1 – сталь 1.7706.1; 2 – сталь 41Cr4; 3 – сталь Ni-Co-Mo 18/7/5

Таблица 3

| Структурно-чувствительный параметр нерегулярного нагружения | Исследуемые марки сталей [14] | | | |
|---|-------------------------------|-------------|----------------|-------------|
| | Сталь Ni-Co-Mo 18/7/5 | Сталь 41Cr4 | Сталь 1.7704.6 | Сталь St 37 |
| c | 4,0 | 2,85 | 2,2 | 3,0 |

На рис. 4а показано соответствие расчетных и экспериментальных значений долговечности стали St37 (коробчатые образцы) в диапазоне (100–200) МПа для регулярного – точки 1, нерегулярного ($p = 0,5$) – точки 2; ($p = 0,25$) – точки 3; ($p = 0,0$) – точки 4, нагружения. На рис. 4б показано аналогичное соответствие в диапазоне (400–600) МПа для сталей: 1.7706.1 – точки 1; 41Cr4 – точки 2; Ni-Co-Mo 18/7/5 – точки 3. Хорошая сходимость расчетных и экспериментальных данных дает возможность прогноза ориентировочной долговечности материала и построения ограниченных кривых выносливости при нерегулярном нагружении с различной полнотой спектра нагружения. Оценим долговечность материала по данным работы [14] при $\sigma_a = 150$ МПа регулярного нагружения и определим, как может меняться N_{Σ} при полноте спектра, представленные экспериментом ($V = 0,638, 0,472, 0,331$), а также других значений V в табл. 1 (рис. 5).

Как видно из рисунка, значения долговечности N_{Σ} в зависимости от полноты спектра нерегулярного нагружения V укладываются на прямолинейную зависимость $V - \lg N_{\Sigma}$.

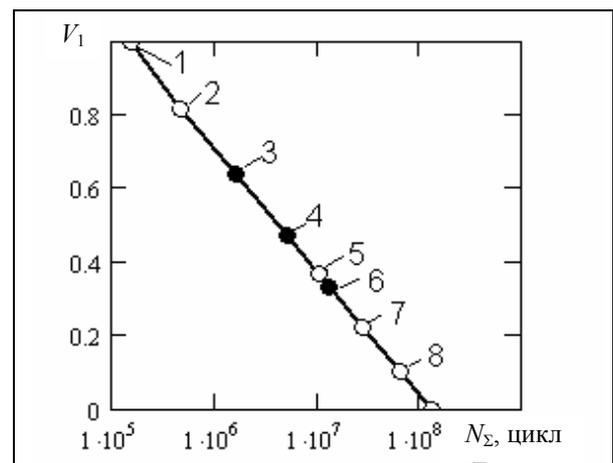


Рис. 5. Долговечность материала в зависимости от меры полноты спектра нагружения V при блочно-программном нагружении, аппроксимирующем:

1 – регулярное одноступенчатое нагружение; 3, 4, 6 – экспериментальные значения при $V = 0,638, 0,472, 0,331$; 5 – распределение Рэлея; 6 – нормальное распределение; 7 – экспоненциальное распределение; 8 – приближенно логарифмическое распределение

Если ступени нагружения, аппроксимирующие спектр внешнего нагружения, будут формироваться по другому принципу, то можно получить другие значения долговечности, зависящие от числа ступеней в блоке нагружения, формированию последовательности действующих напряжений в этом блоке. Конечно, к прогнозированию долговечности материала при малых значениях полноты спектра V и больших базах до разрушения следует относиться с осторожностью, поскольку на этих базах (гигацикловая усталость) может наблюдаться смена механизма накопления поврежденности и перелом кривой выносливости [15]. Однако несомненно, такая оценка при нерегулярном нагружении долговечности на основании расчетных кривых ограниченной выносливости позволяет определить минимальное ее значение при данном $\sigma_{a\max}$, предполагая неизменность этой кривой до предела выносливости регулярного нагружения σ_{-1} .

Таким образом, оценка долговечности материала при нерегулярном нагружении по исследуемым моделям суммирования усталостных повреждений показала возможность их использования для прогнозирования долговечности. Лучшие результаты по принятым экспериментальным данным показала линейная гипотеза суммирования. Показана возможность на основании данных по долговечности базовой кривой усталости при регулярном нагружении и экспериментальных результатов по долговечности материала при одном из нерегулярных спектров нагружения прогнозировать долговечность материала при других случайных спектрах нагружения, аппроксимированных блочной нагрузкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Miner M. A. Japnl. Mech: 12, 1944, s.159–164 – Palmgren A. VDI-Z, 58, 1924, s. 339–405.
2. Козаев В. П. Расчеты на прочность при нагружениях, переменных во времени. М.: Машиностроение, 1977, 232 с.
3. Corten H. T, Dolan T. J. Cumulative fatigue damage. In Procuding of the International Conference on Fatigue of Metals Institution of Mechanical Engineering and Americas Society of Mechanical Engineers, 1956, pp. 235–246.
4. Багмутов В. П., Савкин А. Н. Моделирование усталостной повреждаемости углеродистых сталей при случайном внешнем воздействии. Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения: Труды VI Междунар. конф. СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2005, с. 51–60.
5. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984, 312 с.
6. Гусев А. С. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках. М.: Машиностроение, 1989, 248с.
7. Козаев В. П., Махутов Н. А., Гусенков А. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник – М.: Машиностроение, 1985, 224 с.
8. Бухбаум О., Цашель Й. М. Описание стохастических функций нагружения. Поведение стали при циклических нагрузках. Под. ред. проф. В. Даля. Пер. с нем. Под. ред. В. Н. Геминова. М.: Металлургия, 1982, с. 345–368.
9. Gaßner E., u W. Schütz: Assessment of the allowable design stresses and corresponding fatigue life. In. Fatigue design procedures. Proceedings of the 4 International Committee on Aeronautical Fatigue Symposium, Munchen 1965, Ed. by E.Gaßner, u W.Schütz, Oxford/New Jork 1969.
10. Гурьев А. В., Савкин А. Н. О влиянии кратковременных циклических перегрузок на усталостную прочность и демпфирующую способность углеродистых сталей. Проблемы прочности, 1978, №7, с. 17–22.
11. Гурьев А. В., Савкин А. Н. Роль микропластических деформаций в развитии усталостных повреждений в металлах. В сб. Механическая усталость металлов: Материалы VI Международного коллоквиума. Киев: Наук. думка, 1983, с. 122-129.
12. Багмутов В. П., Савкин А. Н. Оценка долговечности стали на основании нелинейной модели накопления повреждаемости. В сб. Механическая усталость-2006. Материалы 13 Международного коллоквиума (МВМ-2006), Тернополь (Украина), Тернопольский техн. университет, 2006, с. 380–385.
13. Труханов В. М. Надежность в технике. М.: Машиностроение, 1999, 598 с.
14. Остерман Х., Грубинич В. Влияние материала на допустимую величину циклической нагрузки. В сб.: Поведение стали при циклических нагрузках. М.: Metallургия, 1982, с. 405–441.
15. Терентьев В. Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов. М.: Интермет инжиниринг, 2002, 287 с.

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ
Волгоградского государственного технического университета
№ 9(35), 2007 г.

Серия "АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И ИНФОРМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ "

Выпуск 3

Межвузовский сборник научных статей

Редактор *Л. П. Кузнецова*

Компьютерная верстка *Т. Е. Малютиной*

Темплан 2007 г. Поз. № 49.

Лицензия ИД № 04790 от 18.05.2001.

Подписано в печать 29.08.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,67. Уч.-изд. л. 18,90.
Тираж 200 экз. Заказ 731.

Волгоградский государственный технический университет.
400131 Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28.

РПК "Политехник"
Волгоградского государственного технического университета
400131 Волгоград, ул. Советская, 35.

В сборнике научных статей "Известия ВолгГТУ", серии "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах" публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований и представляют научный и практический интерес для широкого круга специалистов в области вычислительной техники и информатики.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия сборника, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редакция направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на дискетах или компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Дискета должна быть вложена в отдельный конверт, на этикетке дискеты указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, в котором работает автор статьи. В конце статьи ставится полное название учреждения, которое рекомендует статью для публикации, дата и подпись автора (всех авторов).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТом 7.1–2003 "Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления". Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *a*, *b*, и т. д. Рекомендуется включать в сборник статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной–двух статьях.

Статьи должны представлять сжатое четкое изложение результатов, полученных автором без повторов приводимых данных в тексте статьи, таблицах и рисунках. К статье должны быть приложены: сведения об авторах (полные имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номера телефонов – служебного и домашнего, E-mail), документация, подтверждающая возможность ее открытого опубликования.