

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

---

# **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК**

**Выпуск 32**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ,  
ПРИЛОЖЕНИЯ**



**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2006**

Выпуск содержит материалы XXXV научной и учебно-методической конференции СПбГУ ИТМО «Достижения ученых, аспирантов и студентов университета в науке и образовании». Конференция была проведена 31 января – 3 февраля 2006 г. Санкт-Петербургским государственным университетом информационных технологий, механики и оптики в сотрудничестве с

- ФГУП ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»,
- Институтом аналитического приборостроения РАН (ИАНП РАН),
- Институтом проблем машиноведения РАН (ИПМаш РАН),
- Комитетом по науке и высшей школе Санкт-Петербурга (КНВШ),
- ВНИИМ им. Д.И. Менделеева,
- ОАО «ЛОМО»,
- ОАО «Техприбор»,
- ФГУП СПб ОКБ «Электроавтоматика»,
- ЦНИИ «Электроприбор».

В выпуске представлены работы, поддержанные финансированием в рамках:

- Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 гг» (Федеральное агентство по науке и инновациям);
- аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–08 гг.) (Федеральное агентство по образованию);
- Федеральной целевой программы развития образования на 2006–2010 гг. (Федеральное агентство по образованию),
- Российского фонда фундаментальных исследований,

а также инициативные разработки.

#### **Программный комитет конференции:**

Васильев В.Н. (СПбГУ ИТМО) – председатель

Аронов А.М. (ОАО «ЛОМО»)	Маслов Ю.В. (ОАО «Техприбор»)
Алимов Ю.А. (ФГУП ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»)	Максимов А.С. (КНВШ)
Викторов А.Д. (КНВШ)	Мусалимов В.М. (СПбГУ ИТМО)
Гатчин Ю.А. (СПбГУ ИТМО)	Парамонов П.П. (ФГУП СПб ОКБ «Электроавтоматика»)
Дукельский К.В. (ФГУП ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»)	Пешехонов В.Г. (ЦНИИ «Электроприбор»)
Карасев В.Б. (ФГУП ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»)	Путилин Э.С. (СПбГУ ИТМО)
Козлов С.А. (СПбГУ ИТМО)	Ткалич В.Л. (СПбГУ ИТМО)
Колесников Ю.Л. (СПбГУ ИТМО)	Ханов Н.И. (ВНИИМ им. Д.И. Менделеева)
Курочкин В.Е. (ИАНПРАН)	Храмов В.Ю. (СПбГУ ИТМО)
	Шехонин А.А. (СПбГУ ИТМО)
	Яковлев Е.Б. (СПбГУ ИТМО)

#### **Организационный комитет конференции:**

Никифоров В.О. – председатель

Студеникин Л.М. – зам. председателя

Казар Л.Н. – ученый секретарь

Горкина Н.М.	Ноздрин М.А.
Гатчин Ю.А.	Путилин Э.С.
Гусарова Н.Ф.	Савельева Л.П.
Гуров И.П.	Томасов В.С.
Никоноров Н.В.	

**ISSN 1819-222X**

© Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2006

## О ВЫБОРЕ АРХИТЕКТУРЫ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Г.Ю. Громов, В.В. Кириллов

В статье рассматриваются вопросы выбора наилучшей (при заданной функциональности) архитектуры корпоративной информационной системы по критерию производительность-стоимость (стоимость программно-аппаратной составляющей и эксплуатации системы).

### 1. Введение

Информационная система корпорации состоит из двух относительно независимых составляющих. Первая представляет собой собственно *компьютерную инфраструктуру* корпорации в широком смысле этого слова (сетевая, телекоммуникационная, программная, информационная, организационная инфраструктура). Вторая составляющая – взаимосвязанные функциональные подсистемы, обеспечивающие решение задач корпорации и достижение ее целей. Если первая отражает системно-техническую, структурную сторону любой информационной системы, то вторая целиком относится к прикладной области и сильно зависит от специфики задач корпорации и ее целей.

До недавнего времени в технологии создания информационных систем доминировал подход, основанный на концепции BPR (Business Process Reengineering), когда вся архитектура информационной системы строилась «сверху-вниз» – от прикладной функциональности к системно-техническим решениям, а первая составляющая информационной системы целиком выводилась из второй [1]. Однако практика многих российских проектов показала, что начинать построение ИС только с анализа бизнес-процессов (не уделяя должного внимания инфраструктуре) весьма и весьма проблематично. Проблема заключается в том, что в современных российских условиях – условиях исключительно быстро меняющихся правил игры (социальных, политических, экономических), в рамках которой строится вся прикладная функциональность – систематизация управленческой деятельности представляет собой весьма сложную задачу ввиду высокой степени неопределенности. Кроме того, многие российские организации начинали создавать информационные системы на базе существующей у них компьютерной инфраструктуры, стихийно появившейся к началу 90-х годов в ряде отделов.

Поэтому в настоящее время развивается комбинированный подход, который можно характеризовать как «встречное движение»: компьютерная инфраструктура и системная функциональность строятся и модифицируются так, чтобы в максимальной степени обеспечить изменчивость на уровне прикладной функциональности [3]. При этом возникает задача оценки подходящих по функциональности архитектур создаваемой компьютерной инфраструктуры для выбора наилучшей по критерию производительность-стоимость. (Здесь в понятие «стоимость» входят все затраты как на программно-аппаратную составляющую, так и на эксплуатацию компьютерной инфраструктуры.)

### 2. Архитектура компьютерной инфраструктуры

#### 2.1. Общее представление

Компьютерная инфраструктура объединяет в единое пространство информационные системы всех объектов корпорации. Она создается в качестве системно-

технической основы информационной системы, как ее главный системообразующий компонент, на базе которого конструируются другие подсистемы.

Компьютерная инфраструктура задумана и проектируется в единой системе координат, основу которой составляет понятия *системно-технической инфраструктуры* (структурный аспект), *системной функциональности* (сервисы и приложения) и *эксплуатационных характеристик* (свойства и службы). Каждое понятие находит свое отражение в том или ином компоненте и реализуется в конкретных технических решениях.

С функциональной точки зрения компьютерная инфраструктура - это эффективная среда передачи актуальной информации, необходимой для решения задач корпорации. С системно-технической точки зрения она представляет собой целостную структуру, состоящую из нескольких взаимосвязанных и взаимодействующих уровней:

- интеллектуальное здание;
- компьютерная сеть;
- телекоммуникации;
- компьютерные платформы;
- программное обеспечение промежуточного слоя (middleware);
- приложения.

С точки зрения системной функциональности компьютерная инфраструктура выглядит как единое целое, предоставляющее пользователям и программам набор полезных в работе услуг (*сервисов*), общесистемных и специализированных *приложений*, обладающее набором полезных качеств (*свойств*) и содержащее в себе *службы*, гарантирующее ее нормальное функционирование. Ниже будет дана краткая характеристика сервисов, приложений, свойств и служб.

### **2.1.1. Сервисы**

Одним из принципов, положенных в основу создания Сети, является максимальное использование *типовых решений*, стандартных *унифицированных компонентов*. Конкретизируя этот принцип применительно к прикладному ПО, можно выделить ряд универсальных сервисов, которые целесообразно сделать базовыми компонентами приложений. Такими сервисами являются сервис СУБД, файловый сервис, информационный сервис (Web-сервис), электронная почта, сетевая печать и другие.

Понятие сервисов ПО промежуточного слоя исключительно полезно при проработке архитектуры КС. Фактически программная инфраструктура КС представляется многослойной, где каждый слой есть совокупность сервисов ПО промежуточного слоя. Нижние слои составляют низкоуровневые сервисы, такие как сервис имен, сервис регистрации, сетевой сервис и т.д. Вышележащие слои включают сервисы управления документами, сервисы управления сообщениями, сервисы событий и так далее. Верхний слой представляет собой сервисы, к которым опосредованно (через приложения) обращаются пользователи.

Здесь уместна аналогия с телефонной службой. Если пользователь нуждается в получении определенной услуги от информационной системы, то он должен программно подключиться к соответствующему сервису. Для этого он должен установить на свой компьютер приложение, которое такое подключение обеспечивает, и запросить от системного администратора выполнения административных действий. Например, если пользователь подключается к электронной почте, он должен установить приложение-клиент электронной почты, а системный администратор должен зарегистрировать нового пользователя. Точно так же сотрудник организации, желающий подключиться к телефонной сети, попросту должен подключить телефонный аппарат к розетке (предварительно затребовав от системного администратора выполнения соответствующих действий).

Проект КС исключительно удобно описывать в терминах сервисов. Так, например, политику информационной безопасности целесообразно строить, исходя их потребности в защите существующих и вводимых в действие сервисов. Подробнее об этом можно прочесть в работе [3].

### **2.1.2. Приложения**

К *общесистемным приложениям* относят средства автоматизации индивидуального труда, используемые разнообразными категориями пользователей и ориентированные на решение типичных офисных задач. Это – текстовые процессоры, электронные таблицы, графические редакторы, календари, записные книжки и т.д. Как правило, общесистемные приложения представляют собой тиражируемые локализованные программные продукты, несложные в освоении и простые в использовании, ориентированные на конечных пользователей.

*Специализированные приложения* направлены на решение задач, которые невозможно или технически сложно автоматизировать с помощью общесистемных приложений. Как правило, специализированные приложения либо приобретаются у компаний-разработчиков, специализирующихся в своей деятельности на конкретную сферу, либо создаются компаниями-разработчиками по заказу организации, либо разрабатываются силами самой организации. В большинстве случаев специализированные приложения обращаются в процессе работы к общесистемным сервисам, таким, например, как файловый сервис, СУБД, электронная почта и т.д. Собственно, специализированные приложения, рассматриваемые в совокупности в масштабах корпорации, как раз и определяют весь спектр прикладной функциональности.

### **2.1.3. Свойства и службы**

Как уже говорилось выше, срок службы системно-технической инфраструктуры в несколько раз больше, чем у приложений. Корпоративная сеть обеспечивает возможность развертывания новых приложений и их эффективное функционирование при сохранении инвестиций в нее, и в этом смысле она должна обладать свойствами открытости (следование перспективным стандартам), производительности и сбалансированности, масштабируемости, высокой готовности, безопасности, управляемости.

Перечисленные выше свойства, по сути, представляют собой *эксплуатационные характеристики* создаваемой информационной системы и определяются в совокупности качеством продуктов и решений, положенных в ее основу.

Профессионально выполненная интеграция компонентов информационной системы (*системное конструирование*) гарантирует, что она будет обладать заранее заданными свойствами. Эти свойства вытекают также из высоких эксплуатационных характеристик (свойств) сервисов ПО промежуточного слоя. Разумеется, хорошие показатели по конкретным свойствам будут достигаться за счет грамотных технических решений системного конструирования.

Так, система будет обладать свойствами *безопасности, высокой готовности и управляемости* за счет реализации в проекте Корпоративной Сети соответствующих служб.

*Масштабируемость* в контексте компьютерных платформ (например, для серверной платформы) означает возможность адекватного наращивания мощностей компьютера (производительности, объема хранимой информации и т.д.) и достигается такими качествами линии серверов, как плавное наращивание мощности от модели к модели, единая операционная система для всех моделей, удобная и продуманная политика модификации младших моделей в направлении старших (upgrade) и т.д.

*Общесистемные службы* – это совокупность средств, не направленных напрямую на решение прикладных задач, но необходимых для обеспечения нормального функ-

ционирования информационной системы корпорации. В качестве обязательных в корпоративную сеть должны быть включены службы информационной безопасности, высокой готовности, централизованного мониторинга и администрирования.

## 2.2. Технология клиент-сервер

До середины 80-х годов эксплуатировались централизованные компьютерные системы. Все вычислительные ресурсы были сконцентрированы в едином комплексе, там же хранились и обрабатывались огромные массивы данных. Достоинства централизованной архитектуры мэйнфреймов очевидны – это простота администрирования, защиты информации и ряд других.

Среди множества характерных черт архитектуры мэйнфреймов особо отметим использование в качестве основного средства доступа к информации алфавитно-цифровых терминалов. Решение выглядело естественным, логичным и оправданным – если где-либо требовался доступ к информационной системе, то к этому месту техническая служба подводила кабели и устанавливала терминал, который тут же начинал работать, и пользователь получал доступ к мэйнфрейму. Если терминал ломался, техническая служба заменяла его, и пользователь продолжал свою работу. Вообще говоря, терминал подобен бытовой технике – стиральной машине, холодильнику или утюгу – простому устройству, которое все время функционирует, а в случае поломки подвергается ремонту или замене.

С появлением персональных компьютеров стало возможным иметь вычислительные и информационные ресурсы на собственном рабочем месте. Появилась возможность переноса части системы для выполнения на персональном компьютере. Таким образом, система стала распределенной – одна ее часть выполнялась на центральном компьютере, другая – на персональном, который был объединен в сеть с центральным. Появилась исключительно удобная и естественная модель клиент-сервер – модель взаимодействия компьютеров и программ в сети [2].

Известно, что один из принципов технологии клиент-сервер состоит в разделении функций интерактивного приложения на три группы: функции ввода и отображения данных; чисто прикладные функции, характерные для данной предметной области; функции управления данными. Соответственно, в любом приложении выделяются: компонент представления, реализующий функции первой группы; прикладной компонент, поддерживающий функции второй группы; компонент доступа к данным, реализующий функции третьей группы.

На рис. 1 приведены различные модели архитектуры клиент-сервер. Здесь показан переход от подхода «мощный сервер» (слева), в рамках которого почти вся работа осуществляется на сервере, к подходу «мощный клиент» (справа), в соответствии с которым все приложения находятся на клиентской стороне, а по сети к серверу могут посылаться лишь SQL-вызовы.

Упрощенный подход выполнения большей части приложения на рабочей станции и резервирования сервера для обработки SQL («мощный клиент») кажется привлекательным – он эксплуатирует мощь процессора на рабочем столе, и модель архитектурно проста. Однако:

- размещение программы максимально близко к данным (т.е. на сервере) значительно снижает объем пересылаемой информации;
- использование такого инструмента баз данных, как хранимые процедуры, повышает целостность и безопасность данных, в то же время уменьшая загрузку разработчика приложений;
- практически приложения показывают лучшую масштабируемость по производительности при «мощном сервере», чем при «мощном клиенте».

Поэтому в средах, где важны масштабирование и безопасность данных, превалирует более сбалансированная архитектура (нечто близкое к тому, что на рис. 1 было названо «распределенной функцией»).

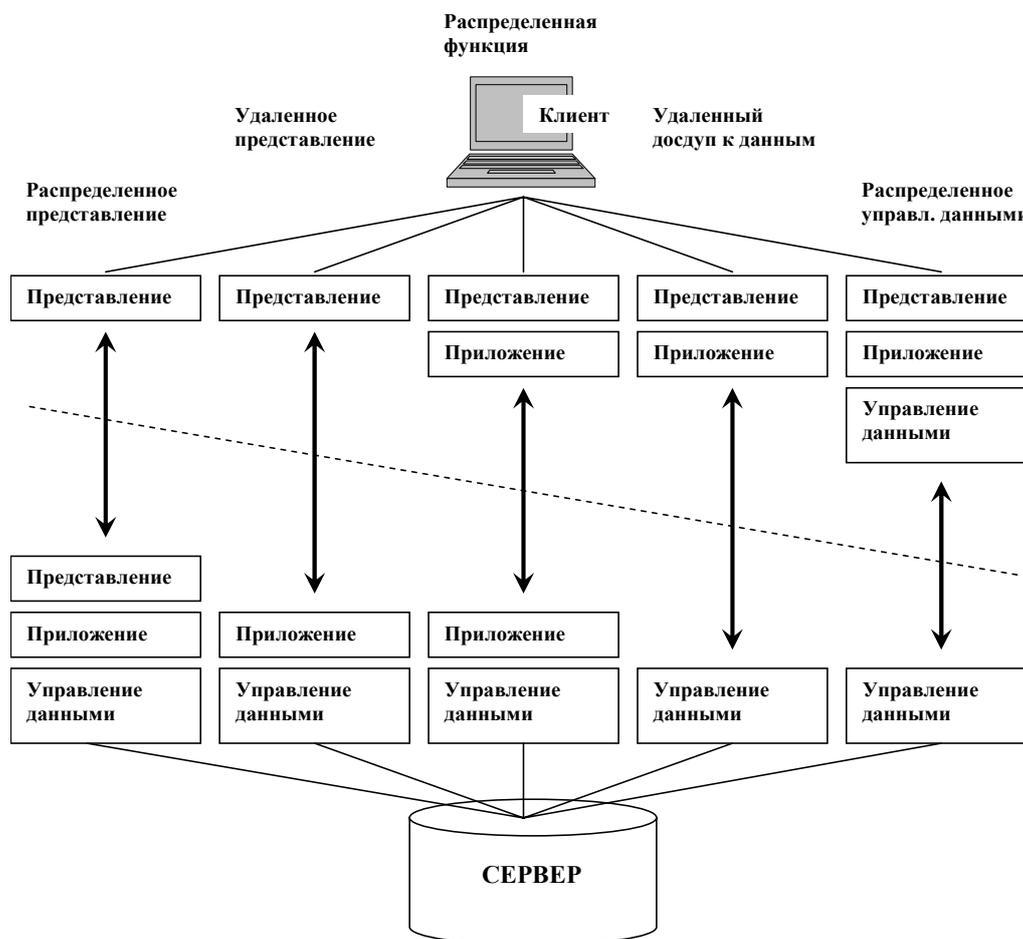


Рис.1. Модели клиент-сервер

Вычисления клиент-сервер позволяют резко поднять огромный потенциал все увеличивающегося числа локальных сетей. Выполнение программы на нескольких машинах дает возможность повысить производительность и обеспечить масштабируемость. Однако архитектура клиент-сервер не решает всех задач. Неправильно спроектированная или плохо реализованная технология не только снижает производительность, но и иногда становится источником новых проблем управления. Как и у любой другой технологии вычислений, у систем клиент-сервер есть свои достоинства, которые следует использовать, и недостатки, от которых нужно избавляться.

Некоторые преимущества модели клиент-сервер определяются тем фактом, что клиентская и серверная части системы работают, как правило, на разных компьютерах, причем каждый из них можно установить таким образом, чтобы он наилучшим образом отвечал требованиям функционирующего на нем компонента. Например, для сервера базы данных целесообразно применять компьютер с мощным процессором (или несколькими процессорами), большим объемом ОЗУ и дисковой памяти. Такой сервер способен хранить значительные объемы данных и адекватно обрабатывать множество одновременных запросов клиентов. Для выполнения же клиентского приложения скорее подойдет менее дорогой персональный компьютер с минимально необходимой памятью. В этом случае в руках пользователя при минимальных затратах окажется доста-

точно удобный инструмент. Такая система обладает хорошей адаптируемостью и гибкостью при неизбежных изменениях в программном и аппаратном обеспечении. В частности, в приложениях клиент-сервер при необходимости можно заменить старый сервер на новый, более мощный, не нарушая функциональности клиентских компонентов и не снижая продуктивности работы пользователей. Кроме того, такую систему легко масштабировать, приспособив ее к изменениям в рабочей группе (при увеличении числа сотрудников добавлять новые рабочие станции). Каждый функциональный компонент системы можно настроить на наилучшее выполнение тех или иных операций.

Таким образом, с точки зрения пользователя, приложения функционируют быстрее, поскольку многие процессы обрабатываются параллельно и благодаря этому выполняется больший объем работы. Приложения клиент-сервер, приближаясь к ресурсам, с которыми они работают, становятся более эффективными, а сетевые ресурсы – менее загруженными, так как многие операции осуществляются локально и избыточные данные не передаются по локальной сети.

Что касается организаций, эксплуатирующих информационные системы, то, поскольку с дорогими высокопроизводительными компьютерами могут совместно работать несколько клиентов, они загружаются более оптимально, а к имеющимся ресурсам получает доступ большее число пользователей. Кроме того, организации могут сохранить свои вложения в существующие клиентские технологии, наращивая масштабы систем за счет дополнительных или более мощных серверов.

### **3. Выбор архитектуры корпоративной информационной системы**

Для выбора наилучшей архитектуры корпоративной информационной системы по критерию производительность-стоимость необходимо:

- иметь набор показателей моделей клиент-сервер, устанавливающих границы применения этих моделей к специфике информационно-вычислительных задач (число пользователей, объемы обрабатываемой информации, сложность вычислений и др.);
- определить специфику задач корпорации и ее цели, по которым можно выявить ряд вышеперечисленных показателей, но уже для этих задач;
- по разработанной методике (будет рассмотрена в другой работе) сопоставить полученные показатели и выбрать по критерию производительность-стоимость наиболее целесообразную модель клиент-сервер, а также программно-аппаратное обеспечение для решения задач корпорации.

Аналогичным способом следует поступать при необходимости модернизации существующей информационной системы.

### **4. Заключение**

Выше рассматривались подходы к проектированию корпоративных информационных систем и обосновывалась целесообразность использования комбинированного подхода, который можно характеризовать как «встречное движение»: компьютерная инфраструктура и системная функциональность строятся и модифицируются так, чтобы в максимальной степени обеспечить изменчивость на уровне прикладной функциональности.

При этом возникает задача оценки подходящих по функциональности архитектур создаваемой компьютерной инфраструктуры для выбора наилучшей по критерию производительность-стоимость. (Здесь в понятие «стоимость» входят все затраты как на

программно-аппаратную составляющую, так и на эксплуатацию компьютерной инфраструктуры.)

Изложенные понятия и принципы вполне конкретны. Будучи принятыми в качестве основополагающих при построении информационной системы, они выливаются в конкретные организационные шаги и технические действия, которые в совокупности можно охарактеризовать как рациональные технологии. Будучи последовательно проведенными в жизнь, они с высокой гарантией приведут к желаемому результату.

### **Литература**

1. Дейт К. Введение в системы баз данных. 8-изд. К.: Диалектика, 2005. 1328 с.
2. Сэнджив Рохилла, Сэнтил Натан, Сербии Мэлхотра. Microsoft ADO.NET: разработка профессиональных проектов. СПб: ВHV-Петербург, 2003. 724 с.
3. Крам Дж. Использование Oracle 11i. / Специальное издание. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1072 с.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ЧАСТОТЫ ОБНОВЛЕНИЯ ДАННЫХ В OLAP СИСТЕМАХ

А.К. Дорожкин

Выбор частоты обновления данных всегда обусловлен компромиссом между актуальностью хранимых данных и вычислительными затратами, необходимыми для выполнения этой операции. В данной статье представлен метод, позволяющих определить эффективную частоту обновления данных применительно к OLAP системам.

## Введение

Высокая эффективность OLAP систем в решении задач анализа данных в первую очередь обусловлена наличием в многомерной базе (МБД) всех данных, необходимых для выполнения анализа. Формат данных и структура МБД обеспечивают высокую скорость поиска и извлечения. Для согласования структуры МБД со структурами данных внешних информационных систем и поддержки актуальности данных необходимо периодически выполнять операцию загрузки (обновления). В рамках OLAP систем данный процесс состоит из трех основных этапов:

- извлечение новых данных из внешних источников,
- передача данных по сети,
- расчет агрегированных показателей.

Наиболее ресурсоемким этапом является расчет агрегированных показателей [5], так как он требует сканирования всех данных, хранящихся в МБД. Однако некоторые производители OLAP серверов (Microsoft, Cognos) используют инкрементальную агрегацию, когда значению существующих агрегированных показателей корректируется на основании загруженных значений. Полная агрегация (Oracle) позволяет разделить во времени процессы загрузки и агрегации данных, а также позволяет удалять данные из МБД. Но недостатком такого способа является слишком большие вычислительные затраты, так как требуется сканирование всех данных многомерного куба. Инкрементальная агрегация выполняется намного быстрее, так как происходит только добавление новых данных ко всем уровням иерархии. Но при этом процессы загрузки и агрегации данных следуют неразрывно во времени. Также в этом случае невозможно удалять данные из МБД.

В любом случае выбор частоты обновления данных обусловлен компромиссом между актуальностью данных и вычислительной нагрузкой на OLAP систему. Но прежде чем получить формальный критерий эффективной частоты обновления данных, необходимо располагать численными характеристиками актуальности данных и загрузки системы.

## Параметры метода

В рамках предлагаемого метода происходит определение частоты обновления данных ( $v$ ). Именно изменение данного параметра определяет как актуальность хранимых данных, так и нагрузку на систему. Для того чтобы определить зависимость размера загружаемых данных от значения частоты обновления, необходимо ввести понятие скорости изменения данных ( $v$ ), под которым будем понимать количество байт, изменяемых или добавляемых в таблицу в единицу времени.

Для определения временных характеристик необходимо использовать понятия производительности той или иной части системы. Так, для передачи данных по сети это будет ее пропускная способность  $p$ , а для извлечения и агрегации данных, соответст-

венно,  $W_{ext}$  и  $W_{agg}$ , выражающие производительности соответствующего элемента системы.

В общем случае время выполнения операции определяется как  $t = \frac{C}{W}$ , где  $C$  — объем обрабатываемых данных, а  $W$  — производительность. Для определения времени выполнения извлечения и передачи данных по сети всегда используется объем новых данных ( $C_{inc}$ ), а время выполнения агрегации определяется в зависимости от ее типа. Так, инкрементальная агрегация затрагивает только новые данные ( $C_{inc}$ ), а полная — все данные, хранящиеся в многомерном кубе ( $C_{cube}$ ).

Наиболее сложный вопрос заключается в определении количественного выражения актуальности данных. Так как в OLAP системе широко используется предварительный расчет агрегатов, то изменение значения одной ячейки детальных данных влияет на множество ячеек многомерного куба, стоящих выше по иерархии во всех измерениях, по которым агрегируется данная ячейка. Поэтому простое сравнение количества загруженных ячеек с общим количеством ячеек многомерного куба не подходит, так как каждая загруженная ячейка детальных данных меняет  $\sum_{i=1}^n (l_i - 1)$  ячеек [4], где  $n$  — количество измерений многомерного куба данных, а  $l_i$  — количество уровней  $i$ -ого измерения, подлежащих предварительной агрегации.

По аналогии с методом оценки актуальности данных, предложенного в [3], значение степени актуальности данных многомерного куба можно определить как отношение всех измененных ячеек, к общему числу ячеек многомерного куба:

$$\phi = C_{inc} * \frac{1 + \sum_{i=1}^n (l_i - 1)}{C_{cube}}. \quad (1)$$

С другой стороны, как уже было отмечено выше, при обновлении данных, наиболее длительной операцией является операция агрегации данных. Однако данная операция охватывает сканирование всех данных, имеющихся в многомерном кубе, поэтому для повышения эффективности процесса обновления данных необходимо установить некоторый баланс между временем извлечения и передачи новых (полезных) данных по сети, а также агрегированием всех имеющихся данных на OLAP сервере. Для этого введем степень полезной нагрузки ( $\beta$ ), равную отношению времени агрегации ( $t_{agg}$ ) и суммарному времени извлечения ( $t_{ext}$ ) и передачи данных по сети ( $t_{net}$ ):

$$\beta = \frac{t_{agg}}{t_{net} + t_{ext}} = \frac{C_{cube}}{W_{agg} \left( \frac{v}{v * p} + \frac{v}{v * W_{ext}} \right)} = \frac{v * C_{cube}}{W_{agg} * v * \left( \frac{1}{p} + \frac{1}{W_{ext}} \right)}. \quad (2)$$

### Критерии определения частоты обновления данных

Слишком маленький интервал обновления может иметь свои негативные последствия: после того, как данные загружены, необходимо пересчитать хранимые значения агрегатов, что обычно является достаточно длительной операцией, затрагивающей сканирование всех детальных данных, хранимых в МБД. Разумеется, интервал обновления не должен быть меньше или равен времени, необходимому для выполнения агрегации. В противном случае сервер МБД будет занят только тем, что будет обновлять данные. Отсюда возникает понятие «максимально возможная частота обновления», т.е. частота

обновления, при которой загрузка OLAP системы по выполнению задачи обновления данных близка к 100%:

$$t_{net} + t_{agg} + t_{ext} < \frac{1}{v} \Rightarrow v < \frac{1}{t_{net} + t_{agg} + t_{ext}}, \quad (3)$$

где  $t_{net}$ ,  $t_{agg}$ ,  $t_{ext}$  – время передачи данных по сети, время выполнения предварительного расчета агрегатов и время извлечения данных из внешнего источника, соответственно.

Таким образом, используя выражение (3) и понятие производительности, значение максимально возможной частоты обновления данных для случай полной агрегации можно записать как

$$v_{max} < \frac{1}{\frac{v}{v * p} + \frac{v}{v * W_{ext}} + \frac{C_{cube}}{W_{agg}}} \Rightarrow v_{max} = \frac{W_{agg}}{C_{cube}} \left( 1 - v \left( \frac{1}{p} + \frac{1}{W_{ext}} \right) \right). \quad (4)$$

В случае инкрементальной агрегации частота обновления данных не зависит от скорости изменения данных, и единственное условие, необходимое для выполнения процесса обновления данных, чтобы скорость изменения данных не превышала общей производительности процесса загрузки:

$$v < \frac{1}{\frac{v}{v * p} + \frac{v}{v * W_{ext}} + \frac{v}{v * W_{agg}}} \Rightarrow v < \frac{1}{\frac{1}{p} + \frac{1}{W_{ext}} + \frac{1}{W_{agg}}}. \quad (5)$$

Выражение (4) позволяет определить максимально возможную частоту обновления данных для случая полной агрегации, т.е. частоту данных, при которой система многомерного анализа данных занимается только тем, что обновляет свои данные. Очевидно, что такой подход не всегда является эффективным. Возникает вопрос, как определить эффективность процесса загрузки данных? Ответ на этот вопрос заключается в самом предназначении процесса загрузки данных – обновление данных, т.е. согласование внутренних данных системы многомерного анализа, с внешними источниками. При этом источники данных всегда содержат актуальные данные относительно OLAP системы (относительно реального мира эти данные тоже могут быть устаревшими, но данный вопрос выходит за рамки этой работы). Таким образом, эффективным является процесс загрузки, обеспечивающий определенную степень актуальности внутренних данных системы многомерного анализа.

Используя количественное выражение степени актуальности данных, представленное в (1), эффективная частота обновления определяется как

$$v = \frac{v}{C_{cube} * \phi} * \left( 1 + \sum_{i=1}^n (I_i - 1) \right). \quad (6)$$

Следует отметить, что степень актуальности является единственной характеристикой, позволяющей определить эффективную частоту обновления данных для случая инкрементальной агрегации. Для всех остальных условий частота обновления данных при инкрементальной агрегации не зависит от скорости изменения данных.

Для равномерного распределения нагрузки по различным частям системы во время процесса обновления данных необходимо выбрать частоту обновления исходя из степени полезной нагрузки, определенной в выражении (2):

$$v = \frac{W_{agg}}{C_{cube}} * \beta * v * \left( \frac{1}{p} + \frac{1}{W_{ext}} \right). \quad (7)$$

На рис. 1 схематично представлены зависимости выражений (4) ( $v_{\max}$ ), (6) ( $v(\varphi)$ ) и (7) ( $v(\beta)$ ) от скорости изменения данных во внешнем источнике.

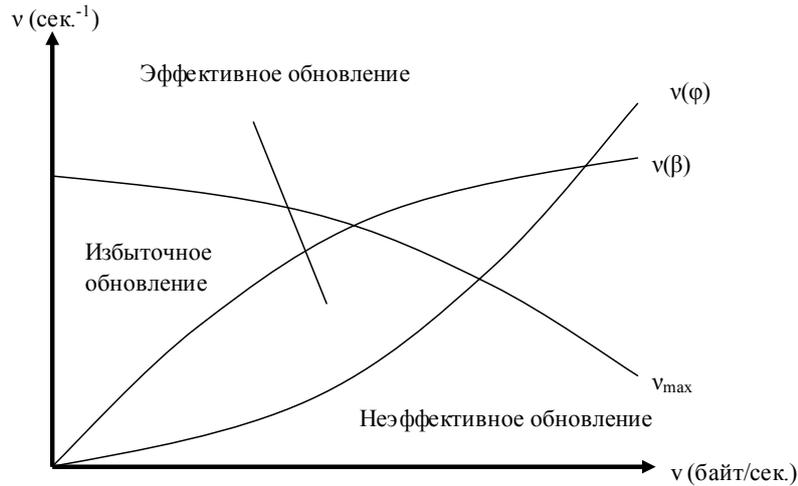


Рис. 1. Эффективное обновление данных

На рис. 1  $v_{\max}$  обозначает максимально допустимую частоту обновления, выше которой система не будет справляться с обновлением данных. Область, отмеченная на рисунке как «Неэффективное обновление», обозначает случай, когда частота обновления данных не обеспечивает требуемую степень актуальности данных  $\varphi$ . Область, обозначенная как «Избыточное обновление», позволяет достичь требуемой степени актуальности, однако степень полезной нагрузки оказывается ниже заданного значения  $\beta$ . Поэтому эффективное обновление данных в случае, когда  $v(\beta) < v(\varphi)$ , при  $v(\beta) < v_{\max}$  и  $v(\varphi) < v_{\max}$ , обеспечивается при  $v \in [v(\beta); v(\varphi)]$ , а оптимальное значение частоты обновления равно  $v(\varphi)$ .

В случае, когда  $v(\beta) > v(\varphi)$ , при  $v(\beta) < v_{\max}$  и  $v(\varphi) < v_{\max}$ , эффективное обновление невозможно, так как в этом случае возможно только либо избыточное, либо неэффективное обновление. Подобный случай изображен на рис. 2.

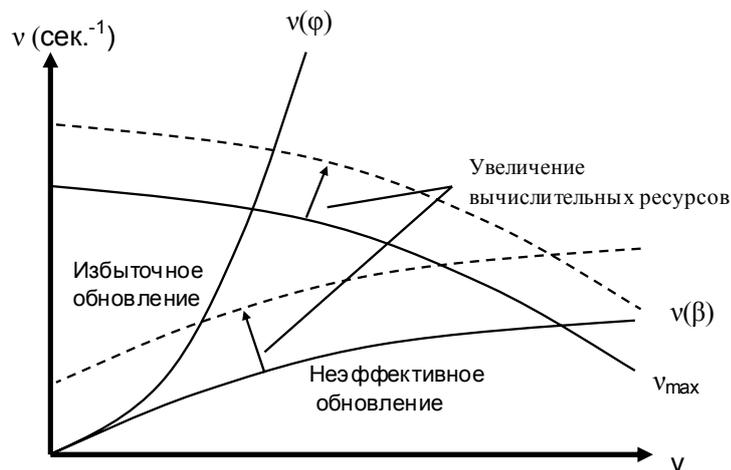


Рис. 2. Отсутствие эффективного обновления

В этом случае требуется увеличение вычислительных ресурсов. Так, для условий, представленных на рис. 2, требуется увеличение производительности OLAP сервера, потому что увеличение пропускной способности сети приведет к уменьшению значения  $v(\beta)$ .

При определении частоты обновления многомерного куба необходимо еще учитывать, что в процессе загрузки новых данных увеличивается размер куба, а, значит, и время, необходимое на выполнение агрегации. Поэтому частоту обновления данных необходимо выбирать с некоторым запасом, используя в качестве параметров прогнозируемый размер многомерного куба. При этом сам OLAP куб обычно не хранит в себе все имеющиеся во внешнем источнике данные, а только данные, например, за последние 5 лет. Таким образом, размер многомерного куба изменяется в определенных пределах, что позволяет достаточно точно определить эффективную частоту обновления. Но решение данной задачи выходит за рамки представленной работы.

### Экспериментальная часть

В рамках эксперимента по определению эффективной частоты обновления данных были проведены эксперименты с помощью OLAP серверов Oracle Express и Microsoft Analysis Services. Целью данных экспериментов была демонстрация зависимостей частот обновления данных, построенных на различных критериях эффективности, от скорости изменения данных на реальных OLAP серверах. Был создан исходный набор детальных данных в реляционном источнике объемом 1 млн. записей. Исходный набор был полностью загружен в МБД и проагрегирован. В процессе проведения эксперимента в реляционный источник данных добавлялась некоторая порция данных, соответствующая определенной скорости изменения, которая после этого загружалась в МБД и также агрегировалась. При этом в Oracle Express применяется полное агрегирование [1], а в Microsoft Analysis Services – инкрементальное [2].

В рамках эксперимента к исходному набору данных добавлялось некоторое количество записей, выражающее определенную скорость изменения данных. При этом производилось измерение времени выполнения агрегации, а также суммарное время извлечения и передачи данных по сети. Изменение исходного набора данных проходило по двум измерениями. Таким образом, в многомерный куб добавлялся срез данных, представляющих двумерный массив.

В табл. 1 представлены результаты измерения времени выполнения основных этапов процесса обновления данных и скорость изменения данных во внешнем источнике – как по двум измерениям, так и суммарная скорость изменения.

Скорость изменения			Oracle Express		Microsoft Analysis Services	
Dim1 (записей/ сутки)	Dim2 (записей/ сутки)	Общая (ячеек/сек.)	$t_{agg}$ (сек.)	$t_{ext}+t_{net}$ (сек.)	$t_{agg}$ (сек.)	$t_{ext}+t_{net}$ (сек.)
20	200	0.046	20	0.5	4	4
40	400	0.185	27	2	4	7
60	600	0.417	36	4	6	10
80	800	0.741	46	7	7	15
100	1000	1.157	56	11	7	23
120	1200	1.667	69	17	9	31

Таблица 1. Результаты эксперимента по загрузке данных

На основании полученных результатов были рассчитаны скорости агрегации и извлечения данных, а также максимально допустимая частота (выражение (4)), эффективная частота на основании степени актуальности данных (выражение (6)) и эффективная частота обновления для заданной степени полезной нагрузки (выражение (7)).

Результаты расчетов представлены в табл. 2. Все эти три критерия актуальны только для полного агрегирования, в то время как для инкрементального агрегирования имеет смысл рассчитывать только эффективную частоту обновления на основании степени актуальности данных (в данном случае ее значение будет полностью совпадать для значения Oracle Express) и определить максимально возможную скорость изменения данных по выражению (5). Для расчетов использовалось значение степени актуальности данных  $10^{-6}$ , степень полезной нагрузки –  $10^5$ , а размер данных в обоих МБД составлял 8 байт.

v (ячеек/ сек)	Oracle Express					Microsoft Analysis Services		
	W <sub>agg</sub> (байт/ сек.)	W <sub>ext</sub> (байт/ сек.)	v <sub>max</sub> (сек. <sup>-1</sup> )	v(φ) (сек. <sup>-1</sup> )	v(β) (сек. <sup>-1</sup> )	W <sub>agg</sub> (байт/ сек.)	W <sub>ext</sub> (байт/ сек.)	v <sub>max</sub> (байт/ сек.)
0.046	1.53*10 <sup>6</sup>	6.40*10 <sup>4</sup>	0.050	1.51*10 <sup>-3</sup>	0.004	8.00*10 <sup>3</sup>	8.00*10 <sup>3</sup>	4.00*10 <sup>3</sup>
0.185	1.51*10 <sup>6</sup>	6.40*10 <sup>4</sup>	0.037	4.55*10 <sup>-3</sup>	0.011	3.20*10 <sup>4</sup>	1.83*10 <sup>4</sup>	1.16*10 <sup>4</sup>
0.417	1.45*10 <sup>6</sup>	7.20*10 <sup>4</sup>	0.028	8.00*10 <sup>-3</sup>	0.016	4.80*10 <sup>4</sup>	2.88*10 <sup>4</sup>	1.80*10 <sup>4</sup>
0.741	1.41*10 <sup>6</sup>	7.31*10 <sup>4</sup>	0.022	1.14*10 <sup>-2</sup>	0.022	7.31*10 <sup>4</sup>	3.41*10 <sup>4</sup>	2.33*10 <sup>4</sup>
1.157	1.41*10 <sup>6</sup>	7.27*10 <sup>4</sup>	0.018	1.46*10 <sup>-2</sup>	0.028	1.14*10 <sup>5</sup>	3.48*10 <sup>4</sup>	2.67*10 <sup>4</sup>
1.667	1.37*10 <sup>6</sup>	6.78*10 <sup>4</sup>	0.014	1.76*10 <sup>-2</sup>	0.036	1.28*10 <sup>5</sup>	3.72*10 <sup>4</sup>	2.88*10 <sup>4</sup>

Таблица 2. Результаты расчета эффективной частоты обновления

Для наглядности приведем небольшой расчет, иллюстрирующий представленные выше условия. Так, если во внешнем источнике данные изменяются со скоростью одна ячейка в секунду или 86400 ячеек в сутки, то для поддержания актуальности данных их необходимо обновлять примерно один раз в минуту. При этом степень актуальности данных составляет  $10^{-6}$ , что является очень жестким требованием при заданных условиях. Именно это значение соответствует эффективной частоте обновления данных в указанных условиях. Графики зависимостей рассчитанных частот обновления от скорости изменения данных представлены на рис. 3.

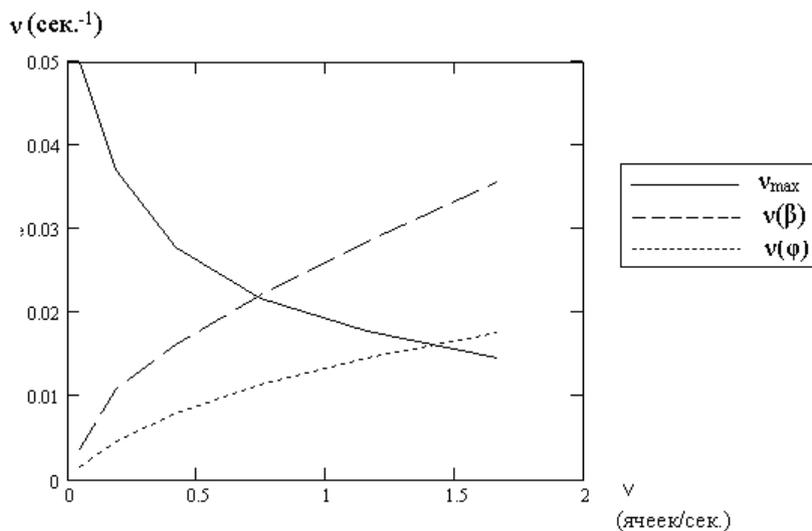


Рис. 3. Зависимость частот обновления от скорости изменения данных

Как видно, характер зависимостей рассчитанных частот обновления, представленный на рис. 3, совпадает с характером зависимостей, полученных при теоретическом рассмотрении данных зависимостей (рис. 1).

Таким образом, результаты экспериментов говорят об адекватности соответствующей части построенной модели и наглядно демонстрируют возможное применение метода определения эффективной частоты обновления данных в реальных условиях.

### **Заключение**

В данной работе был представлен метод определения эффективной частоты обновления данных в OLAP системах. Учитывая особенности OLAP систем и основные этапы процесса обновления данных, были разработаны три критерия, позволяющие учитывать вычислительные возможности системы, распределять нагрузку между различными частями системы, а также обеспечивать требуемую актуальность хранимых данных. Для каждого из критериев было получено математическая зависимость требуемой частоты обновления от параметров системы. На основании трех критериев был создан метод, позволяющий определить эффективную частоту обновления данных. В случае отсутствия эффективной частоты обновления данных предложенный метод позволяет определить необходимое приращение вычислительных ресурсов

### **Литература**

1. Архипенков С.Я., Голубев Д.В., Максименко О.Б., Хранилища данных. От концепции до внедрения / Под общ. ред. С.Я. Архипенкова. М: Диалог–МИФИ, 2002. 528 с.
2. Хоторн Р., Разработка баз данных Microsoft SQL Server 2000 на примерах. СПб: Вильямс, 2001. 464 стр.
3. Kiviniemi J., Wolski A., Lazy Aggregates for Real-Time OLAP // Proceedings of First International Conference on Data Warehousing and Knowledge Discovery. Florence, Italy: Springer-Verlag, 1999. P. 165–172.
4. Shanmugasundaram J., Fayyad U., Bradley P. S., Compressed Data Cubes for OLAP Aggregate Query Approximation on Continuous Dimensions. // Proceedings of the 5th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. NY: ACM Press, 1999. P. 223–232
5. Thomsen E., OLAP Solutions: Building Multidimensional Information Systems. NY: John Wiley & Sons, 2002. 686 p.

# АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СТАНДАРТОВ СЖАТИЯ ВИДЕОДАНЫХ

И.Н. Курносенков, А.Ю. Тропченко

В статье выполнен анализ современных стандартов сжатия видеоданных, определены их основные достоинства и недостатки, а также области применения. Определены основные направления развития методов сжатия, положенных в основу современных стандартов

## Введение

Распространение технологий цифрового вещания и цифрового видео привело к необходимости разработки эффективных методов сжатия видеопоследовательностей. Сжатие видео основано на двух важных принципах: пространственной избыточности, присущей каждому кадру видеоряда, и временной избыточности, т.е. похожести одного кадра на следующий [1, 2]. Таким образом, типичный метод сжатия заключается в кодировании первого кадра с помощью некоторого алгоритма сжатия изображений и последующем кодировании разности первого кадра и последующих. Если очередной кадр сильно отличается от первого кадра последовательности, то его кодируют полностью, и он становится первым кадром новой последовательности. Для увеличения эффективности устранения временной избыточности используется компенсация движения [2].

Рассмотрим этапы процедуры сжатия данных в общем виде. Любой метод сжатия реализует три основных этапа:

- этап предварительной обработки (фильтрация шумов);
- основное преобразование;
- кодирование и упаковка компонент преобразования [3].

На втором этапе выполняется преобразование исходных данных из одной формы представления в другую. В частности, при сжатии изображений в зависимости от вида алгоритма сжатия может быть выполнен переход от исходного изображения к следующим видам представления:

- матрице компонент спектра (при спектральном преобразовании);
- набору коэффициентов преобразования (при фрактальном сжатии);
- описанию объектов изображения (при сжатии с распознаванием).

## Современные стандарты сжатия видеоданных

Для различных сфер использования цифрового видео выдвигались разные требования к сжатию, которые привели к формированию ряда стандартов сжатия для различных областей применения:

- для ISDN-видеоконференций разработан стандарт сжатия ITU H.261;
- для видеоконференций в телефонных сетях – стандарт H.262 и стандарт H.263 для видеоконференций в сетях ATM и по широкополосным каналам;
- необходимость сжатия видеопоследовательностей для хранения на CD-ROM (с условием обеспечения 1.2 Мбит/с для видео-потока и 256 кбит/с для аудио) привела к созданию первоначального стандарта ISO MPEG-1;
- для вещания и хранения на DVD, с битрейтом от 2 до 15 Мбит/с для видео и аудио, был разработан стандарт ISO MPEG-2;
- необходимость кодирования отдельных аудио-визуальных объектов как естественного происхождения, так и синтезированных, привела к созданию ISO MPEG-4 (этот стандарт включает в себя несколько частей, в которых рассматривается, помимо кодирования видео, аудиокодирование, кодирование объектов и т.д., причем к

видео относятся часть 2 -ISO 14496-2 или MPEG-4 Part 2, и часть 10 - ISO 14496-10 или MPEG-4 Part 10);

- необходимость кодирования метаданных, описывающих свойства мультимедийных данных, привела к появлению MPEG-7.

Детальное рассмотрение современных стандартов приводится в работах [4-7]. Остановимся на части 10 стандарта MPEG-4. У нее есть другие названия – H.264 и AVC – Advanced Video Coding. Подробно MPEG-4 Part 10 и H.264 рассматриваются в [4], а сам стандарт изложен в [5] и [7]. Часть 10 стандарта MPEG-4 определяет один из самых современных и технически совершенных методов кодирования видео. Стандарт AVC/H.264 был разработан Joint Video Team (JVT), которая включает экспертов из MPEG и VCEG (Video Coding Experts Group). Под этим названием стандарт широко известен. Официальное наименование нового стандарта, Advanced Video Coding (AVC), было выбрано MPEG как видео-дополнение к аудио формату Advanced Audio Coding (AAC).

В AVC/H.264 определены следующие профили: базовый (baseline), основной (main), расширенный (extended). Позднее расширенный профиль был дополнен профилем для видео высокого разрешения (high profile), профилем high 10, профилем high 4:2:2 и профилем high 4:4:4.

Базовый профиль нацелен на кодирование и декодирование в реальном времени для мобильных устройств. Он поддерживает прогрессивную развертку, использует I- и P-кадры, а также энтропийное кодирование по методу CAVLC.

Основной профиль предназначен в основном для использования в широковещании. Он поддерживает чересстрочную и прогрессивную развертки, использует I-, P-, B-кадры, весовое предсказание (weighted prediction), а также энтропийное кодирование по методам CAVLC и CABAC.

Расширенный профиль предназначен для использования в средствах передачи, подверженных ошибкам – например, в мобильных коммуникациях. Использует I-, P-, B-, SP-, SI-кадры, поддерживает как чересстрочную, так и прогрессивную развертку, позволяет использовать только метод CAVLC для энтропийного кодирования.

Профиль для видео высокого разрешения предназначен для эффективного кодирования HDV (high definition video). Он использует адаптивный размер блока (8×8 или 4×4) и позволяет применять контекстно-зависимые матрицы квантования.

Профиль high 10 является расширением предыдущего профиля для 10 бит на отсчет компоненты изображения. Профиль high 4:2:2 поддерживает формат YUV 4:2:2 и до 10 бит на отсчет для цветоразностных компонент изображения; а профиль high 4:4:4 поддерживает формат YUV 4:4:4 и до 12 бит на отсчет цветоразностных компонент изображения. Помимо этого он позволяет использовать режим кодирования без потерь и прямое кодирование RGB сигнала. Этот профиль предназначен для кодирования видео студийного качества.

Кодирование осуществляется поблочно. При этом сначала производится предсказание отсчетов яркостной компоненты и цветоразностных компонент в пространственной и временной областях. Затем разность между предсказанными значениями и реальными подвергается целочисленному преобразованию и квантуется. После этого результат сжимается энтропийным кодером. Обработка каждого кадра ведется в пространстве YUV по блокам размером 16×16 для яркостной компоненты (luma) и по 8×8 (для YUV 4:2:2) для цветоразностных компонент (chroma).

Целочисленное преобразование осуществляется над блоками размером 4×4. Это преобразование обладает схожими свойствами с дискретным косинусным преобразованием, но отличается тем, что в нем используется целочисленная арифметика. Это позволяет добиться повышения скорости работы кодера и декодера. Полученные коэффициенты с помощью зигзаг-сканирования выстраиваются в вектор, который квантуется и

подвергается энтропийному сжатию. Помимо этого преобразования, в стандарте заложена возможность использования wavelet-преобразований.

AVC/H.264 определяет два инструмента для энтропийного кодирования битового потока – контекстное адаптивное кодирование с переменной длиной (Context-Adaptive Variable Length Coding, CAVLC) и контекстное адаптивное бинарное арифметическое кодирование (Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding, CABAC) [3]. В CAVLC количество коэффициентов, не равных 0, кодируется отдельно от их значения и положения в векторе. После зигзаг-сканирования коэффициентов преобразования большие значения коэффициентов, соответствующие низкочастотной составляющей, располагаются в начале вектора, а меньшие (соответствующие высокочастотной части) – в конце. В [8] работа метода CAVLC рассмотрена на следующем типичном векторе коэффициентов:

7 6 -2 0 -1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0

Для передачи информации об этом векторе используются следующие данные.

1) Количество ненулевых коэффициентов (N) и количество коэффициентов, равных единице по абсолютной величине, располагающихся после последнего ненулевого элемента (T1). Для данного примера T1 = 2 (коэффициенты -1 и 1), а N = 5 (коэффициенты 7, 6, -2, -1, 1).

2) Закодированные значения коэффициентов. При этом для ненулевых элементов, равных по абсолютной величине единице, необходимо сохранять только их знак. Коэффициенты кодируются в обратном порядке, т.е. первым закодированным коэффициентом в данном случае будет -2. Для кодирования используются 6 таблиц VLC (Variable Length Codes, коды переменной длины) Голомба. Для кодирования первого коэффициента используется стартовая таблица. Контекстная адаптивность алгоритма заключается в возможности сменить таблицу для кодирования каждого следующего коэффициента в зависимости от предыдущих коэффициентов.

3) Информация о знаках. Для кодирования знака используется один бит. Для кодирования единичных коэффициентов кроме этого бита никакой другой информации не требуется, а для других коэффициентов знаковый бит включается в коды Голомба. Местонахождение каждого ненулевого коэффициента кодируется путем указания позиций нулей перед последним ненулевым коэффициентом. Эта информация разбивается на 2 части:

3.1) Общее количество нулей. Это число определяет количество нулей между последним ненулевым коэффициентом вектора и его начальным элементом. Для данного примера это число равно 3. Так как уже известно, что число ненулевых коэффициентов в векторе (N) равно 5, то это число должно быть в пределах [0,11]. Для N в пределах от 1 до 15 доступно 15 таблиц. N, равное 16, означает, что в векторе нет нулевых коэффициентов.

3.2) Расположение нулей в векторе. В данном примере нужно обозначить положение 3 нулей. Сначала кодируется количество нулей перед последним ненулевым коэффициентом (в примере – 2). Это число должно находиться в пределах [0,3], поэтому используется соответствующая таблица VLC. Осталось закодировать положение последнего нуля. Количество нулей перед предпоследним ненулевым коэффициентом должно быть в пределах [0,1]. В примере это число равно 1. Больше нулей нет, поэтому кодирование заканчивается.

Эффективность энтропийного кодирования может быть повышена путем использования контекстно-адаптивного двоичного арифметического кодирования (CABAC). Использование арифметического кодирования допускает использование нецелого количества бит на символ алфавита, что особенно хорошо для символов с вероятностью больше 0,5. Важной особенностью CABAC является контекстное моделирование. Статистические данные об уже закодированных символах используются для оценки вероятностей символов. Эти данные используются для переключения между несколькими моделями для оценки вероятности. В H.264/AVC арифметический кодер представляет собой совокупность

процедур низкой сложности, в которых отсутствуют операции умножения. Процедуры включают в себя сдвиги и обращения к таблицам. Использование САВАС позволяет уменьшить в среднем битрейт на 10–15%. Наибольший выигрыш получается обычно при обработке чересстрочных сигналов ТВ. В таблице приводится сравнение упомянутых выше стандартов сжатия и используемых в них алгоритмах сжатия.

Название стандарта	Область применения	Первичный алгоритм	Вторичный алгоритм	Разрешения	Поток	Недостатки и достоинства
H.261	ISDN-видеоконференции, аппаратные кодеки	DCT (блоки 8x8) и квантование межкадровой разности	VLC (метод Хаффмана)	352x288x30 176x144x30	0,04-2 Мбит/с (рх64 Кбит/с, где р от 1 до 30)	Достоинства: прост в апп. реализации. Недостатки: низкая степень сжатия, плохая компенсация движения (алгоритм рассчитан на видео с небольшим количеством движения, напр. голова собеседника)
H.263	Для видеоконференций в сетях АТМ и по широкополосным каналам	DCT (блоки 8x8) и квантование	Арифметическое кодирование	Sub-QCIF, QCIF, CIF, 4CIF, 16CIF, отдельно настраиваемые разрешения	0,04-2 Мбит/с (рх64 Кбит/с, где р от 1 до 30)	Достоинства: улучшен алгоритм компенсации движения по сравнению с H.261, более эффективный вторичный алгоритм. Недостатки: находится между MPEG-2 и MPEG-4 по количеству заложенных идей
ISO MPEG-1	хранение видеопоследовательностей на CD-ROM	DCT (блоки 8x8) и квантование	Коды переменной длины (Хаффман)	352x240x30 352x288x25	1,5 Мбит/с	Достоинства: прост в апп. реализации. Недостатки: низкая степень сжатия, недостаточная гибкость формата.
ISO MPEG-2	хранения на DVD			Универсальный	3-15 Мбит/с	Достоинства: сравнительная простота апп. реализации. Недостатки: недостаточная степень сжатия, малая гибкость.
MPEG-4 Part 10 (AVC, H.264)	кодирование отдельных аудио-визуальных объектов, как естественного происхождения, так и синтезированных	Целочисленное DCT (блоки 4x4), либо DWT и квантование межкадровой разности	CAVLC или САВАС	Универсальный	0,0048-20 Мбит/с	Достоинства: высокая степень универсальности, объектно-ориентированная работа с потоком данных. Недостатки: высокая сложность реализации

Таблица. Сравнительные характеристики основных стандартов сжатия видеоданных

### Заключение

MPEG-4, будучи последним по времени появления стандартом, использует наиболее эффективные алгоритмы сжатия данных, например, алгоритм арифметического кодирования для энтропийного кодирования и вейвлет-преобразования в качестве пер-

вичного алгоритма. Наиболее перспективными сейчас представляются следующие направления развития:

- использование альтернативных методов сжатия без потерь, таких как различные реализации арифметического кодирования (напр., САВАС), цепные коды и т.п.;
- использование альтернативных преобразований – вейвлет-преобразований (DWT), фрактальных преобразований и выделения объектов с их последующим описанием [9].

### Литература

1. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 384 с.
2. Сэлмон Д. Сжатие данных, изображений и звука. М.: Техносфера, 2004. 368 с.
3. Семенюк В.В. Экономное кодирование дискретной информации. СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001. 115 с.
4. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения. М.: Техносфера, 2005. 368 с.
5. Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC), 2003.
6. Image and Video Coding – Emerging Standards and Beyond. // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 1997. V. 8. № 7. P. 814–837.
7. ITU-T Recommendation H.264 (03/2005) / Prepublished version.
8. Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, Gisle Bjontegaard, Ajay Luthra. Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard. // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, July 2003.
9. Ожиганов А.А., Тропченко А.А., Тропченко А.Ю. Модифицированный фрактальный метод сжатия многоуровневых изображений.// Информационные технологии. 2003. № 4.

# ОСОБЕННОСТИ СЖАТИЯ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ JPEG-ПОДОБНЫМИ АЛГОРИТМАМИ

В.А. Молчанов, А.А. Тропченко

В работе рассматриваются различные способы преобразования цветовых компонент при сжатии цветных изображений на основе стандарта JPEG и анализируется влияние подобных преобразований на качество восстановленного изображения.

## Введение

В данной работе рассматривается сжатие полноцветных изображений, изначально представленных в системе цветопредставления RGB, на основе JPEG-подобного алгоритма.

Цифровые изображения или статические растровые изображения могут рассматриваться как двумерные массивы пикселей. При использовании системы цветопредставления каждый пиксель представляет собой запись (структуру), полями которой являются компоненты цвета.

Метод сжатия JPEG – один из самых распространенных алгоритмов сжатия черно-белых и цветных изображений. Алгоритм состоит из ряда этапов: преобразования цветового пространства и сжатия его компонент, фрагментации, дискретного косинусного преобразования фрагментов, векторизации, квантования и взвешивания, вторичного сжатия [1–3]. При этом обратное преобразование рефлексивно прямому.

Хотя JPEG и является стандартом ISO, формат его файлов не был зафиксирован. Пользуясь этим, производители создают свои, несовместимые между собой форматы и, следовательно, могут изменить алгоритм [4, 5].

В работе рассматривается модификация первого этапа преобразования алгоритма JPEG, а именно – смена стандартного цветового пространства YCbCr на аналогичные ему, т.е. также использующие для передачи изображения одну компоненту яркости и две компоненты цветоразности.

## Цветовые пространства, используемые при сжатии цифровых изображений

В цветовом пространстве RGB пиксели цветного изображения представляются с помощью трех чисел, указывающих относительное соотношение красного (Red), зеленого (Green) и голубого (Blue) цветов (три основные компоненты видимого света). Любой цвет можно получить с помощью комбинации цветов в соответствующей пропорции. Однако при таком подходе практически нет возможности эффективного сжатия изображений, так как для правильного отображения все три компоненты должны быть представлены с одинаковым разрешением.

Поэтому в методе JPEG используется искусственное специальное цветовое пространство YCbCr [1].

Известно, что органы зрения человека менее чувствительны к цвету предметов, чем к их яркости. Цветовое пространство YCbCr и его вариации (иногда их обозначают YUV) является популярным методом эффективного представления цветных изображений. Компонента  $Y$  обозначает яркость, которая вычисляется как взвешенное усреднение компонент  $R$ ,  $G$  и  $B$  по следующей формуле:

$$Y = k_r R + k_g G + k_b B,$$

где  $k$  обозначает соответствующий весовой множитель.

Цветовая информация может быть представлена компонентами цветовых разностей. Тогда каждая из этих компонент представляет собой разность между компонентами  $R$ ,  $G$  и  $B$  и компонентой светимости  $Y$ . Преимущества такого способа представле-

ния изображений состоит в том, что можно, не сжимая компоненту светимости  $Y$ , сжать световые составляющие, представив их с меньшим разрешением, что и осуществляется в алгоритме JPEG на втором шаге сжатия.

Перед тем, как отображать изображение на экране, требуется произвести обратное преобразование из  $YCbCr$  в RGB.

Формулы для прямого преобразования выглядят следующим образом:

$$Y = k_r R + (1 - k_b - k_r)G + k_b B$$

$$C_b = \frac{0.5}{1 - k_b}(B - Y) ; C_r = \frac{0.5}{1 - k_r}(R - Y)$$

и для обратного преобразования

$$R = Y + \frac{1 - k_r}{0.5} C_r, \quad G = Y - \frac{2k_b(1 - k_b)}{1 - k_b - k_r} C_b - \frac{2k_r(1 - k_r)}{1 - k_b - k_r} C_r,$$

$$B = Y + \frac{1 - k_b}{0.5} C_b.$$

Рекомендация ITU-T с идентификатором BT.601 предлагает коэффициенты  $k_b = 0.114$  и  $k_r = 0.229$  [4]. В этом случае используются следующие формулы преобразования:

$$Y_{601} = 0.257R' + 0.504G' + 0.098B' + 16 ;$$

$$C_b = -0.148R' - 0.291G' + 0.439B' + 128;$$

$$C_r = 0.439R' - 0.368G' - 0.071B' + 12.$$

Данный вариант преобразования  $YCbCr$  имеет название  $YCbCr$ : SDTV (Soft Definition Television). Недавно появившийся стандарт телевидения HDTV (High Definition Television) использует несколько иные формулы перехода из RGB в  $YCbCr$  [5,6]:

$$Y_{709} = 0.183R' + 0.614G' + 0.062B' + 16,$$

$$C_b = -0.101R' - 0.338G' + 0.439B' + 128,$$

$$C_r = 0.439R' - 0.399G' - 0.040B' + 128.$$

Однако цветовое пространство  $YCbCr$  – не единственное, использующее для передачи изображения компоненту светимости и две компоненты цветоразности. Наиболее известно цветовое пространство YUV, используемое стандартами PAL (Phase Alternation Line), NTSC (National Television System Committee) и SECAM (Sequential Color with Memory). Следует отметить, что пространство  $YCbCr$  было разработано в рамках рекомендации ITU-R BT.601 на основе именно этого цветового пространства [3, 6].

Формулы перехода из RGB в YUV выглядят следующим образом:

$$Y' = 0.299 * R' + 0.587 * G' + 0.114 * B',$$

$$U = -0.147 * R' - 0.289 * G' + 0.436 * B',$$

$$V = 0.615 * R' - 0.515 * G' - 0.100 * B'.$$

Другое цветовое пространство – YIQ – также разработано на основе YUV и опционально используется в NTSC. Здесь I – inphase – синфазный сигнал, Q – quadrature – квадратура. Формулы перехода из RGB имеют вид

$$Y' = 0.299 * R' + 0.587 * G' + 0.114 * B',$$

$$I = -0.596 * R' - 0.275 * G' - 0.321 * B',$$

$$Q = 0.212 * R' - 0.523 * G' - 0.311 * B'.$$

Photo YCC (торговая марка Eastman Kodak Company) – было разработано для кодирования изображения на носителях Photo CD. Целью было создания цветового пространства, независимого от устройства отображения. Формулы перехода из RGB:

$$Y = 0.213 * R' + 0.419 * G' + 0.081 * B',$$

$$C1 = -0.131 * R' - 0.256 * G' + 0.387 * B' + 156,$$

$$C2 = 0.373 * R' - 0.312 * G' - 0.061 * B' + 137.$$

### Прореживание матриц цветовых компонент

С целью обеспечения более компактного представления матриц цветовых компонент выполняется процедура их прореживания или семплирования. Ранее такая процедура именовалась децимацией.

В ходе семплирования может изменяться число строк и столбцов матриц цветовых компонент, например, за счет удаления каждой четной строки или каждого четного столбца [1, 3].

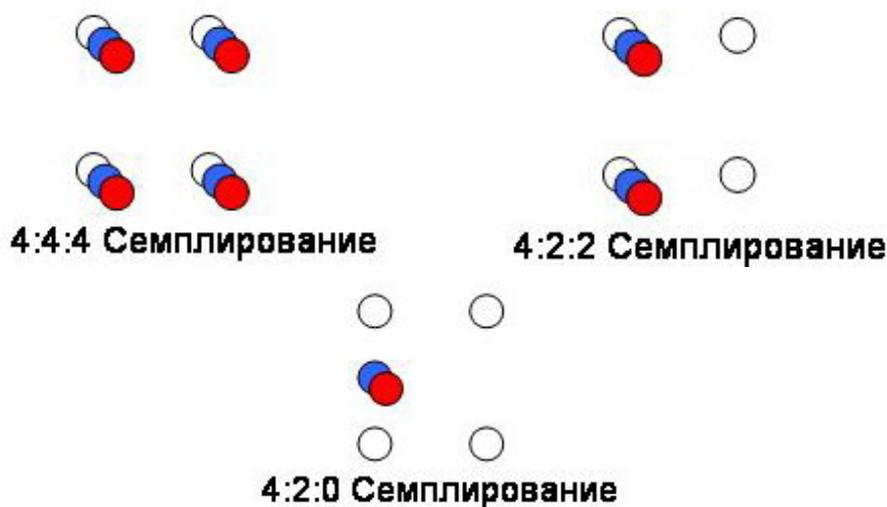


Рис. 1. Различные форматы сэмпирования

Формат семплирования 4:4:4 подразумевает, что все три компоненты (Y, Cb и Cr) имеют одинаковую размерность и, следовательно, сэмплы всех компонентов присутствуют в каждом пикселе. Число в пропорции означает относительную долю каждой компоненты при сэмпировании в горизонтальном направлении, т.е. для каждой из четырех компонент яркости отбирается по четыре хроматические компоненты. Семплирование по формату 4:4:4 означает полную точность в передаче хроматических компонент. При сэмпировании по формуле 4:2:2 (этот формат иногда обозначается YUY2) хроматические компоненты по вертикали имеют одинаковую размерность с яркостью, а по горизонтали они имеют половину от размерности яркости (числа 4:2:2 означают, что на каждые четыре сэмпла яркости Y по горизонтали отбирается только две компоненты Cb и две компоненты Cr). Формат 4:2:2 используется для высококачественного цветного видео. В популярном формате семплирования 4:2:0 (YV12) каждая компонента Cb и Cr имеет и по вертикали, и по горизонтали половину разрешения по сравнению с Y. Соотношение 4:2:0 выглядит несколько странным, поскольку эти числа не имеют обычной интерпретации, а само это выражение просто является данью исторической традиции, когда под этим «кодом» подразумевался именно этот формат сэмпирования, который отличается от форматов 4:4:4 и 4:2:2. Цветное сэмпирование 4:2:0 широко используется во многих потребительских приложениях, таких как видеоконференции, цифровое телевидение и диски DVD. Поскольку хроматические компоненты отбираются в четыре раза реже компонент яркости, то пространство 4:2:0 YCbCr требует в два раза меньше сэмплов по сравнению с форматом видео 4:4:4 (или RGB). Различные форматы сэмпирования показаны на рис.1.

### Анализ качества восстановленных изображений

Чтобы провести анализ эффективности различных цветовых пространств и форматов сэмплирования, было выполнено сжатие и последующее восстановление ряда различных по своему информационному смыслу изображений. Тестирование проводилось на изображениях в формате \*.bmp размером 1024 пикселей по длине и 768 пикселей по высоте. Реализовано несколько вариантов преобразования:

- цветовые пространства, в которые преобразовывалось исходное изображение – YUV, YCbCr, YCbCr (HDTV), Photo YCC и YIQ;
- режимы сэмплирования: режим 4:4:4 – при этом достигаются минимальные потери качества при меньшем коэффициенте сжатия, и режим 4:2:0, при котором компоненты C<sub>b</sub> и C<sub>r</sub> берутся вдвое реже, чем яркостная составляющая, т.е. через строку и через столбец, что обеспечивает больший коэффициент сжатия при худшем качестве.

Коэффициент качества, который используется в стандарте JPEG как входной параметр для формирования матрицы квантования (с помощью этого параметра происходит управление степенью потери качества сжатого изображения и коэффициентом сжатия), принимал значения от 1 до 10.

В результате сжатия и последующего восстановления изображений для указанных случаев определялось отношение сигнала к шуму по трем цветовым компонентам – R, G и B и максимальное отклонение значений пикселей.

На рис. 2 показана одна из полученных зависимостей качества восстановленного изображения для различных цветовых пространств и различных матриц квантования.

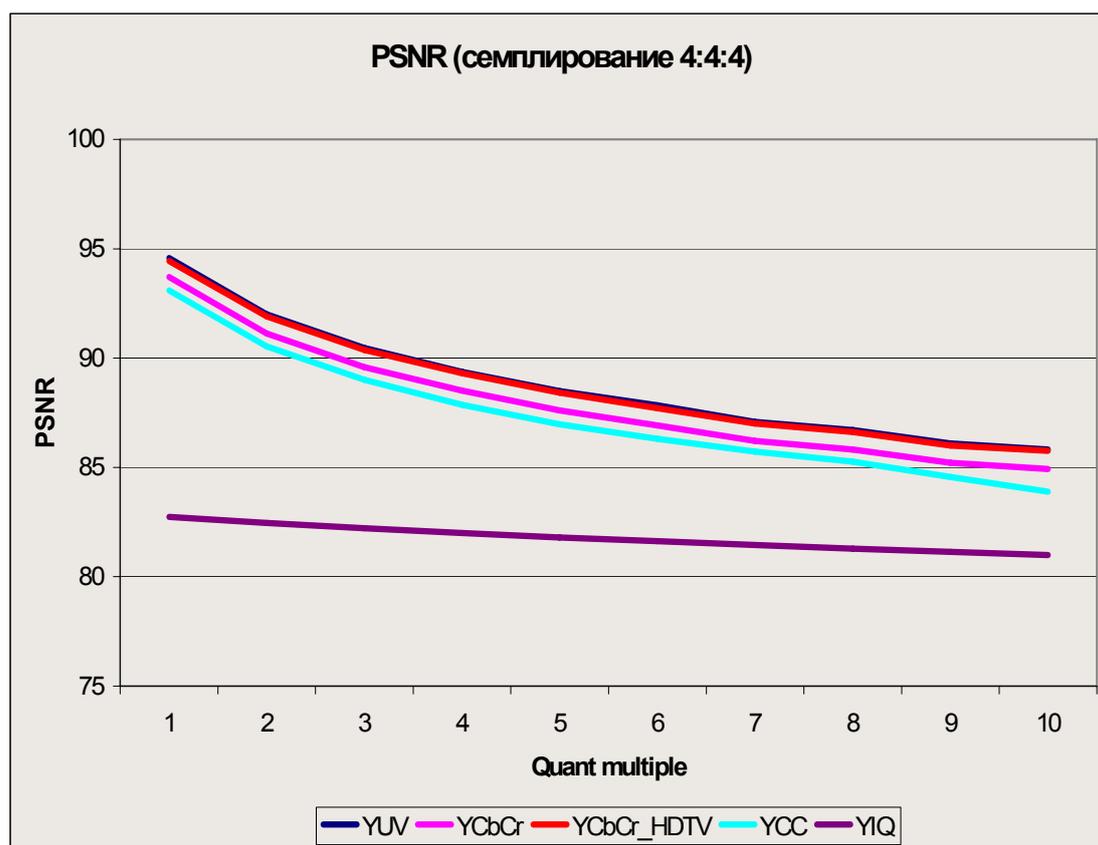


Рис. 2. Зависимость соотношения сигнал/шум (в dB) от коэффициента качества при сжатии цветных изображений с использованием различных цветовых пространств

### Заключение

Таким образом, выполненное сравнение качества восстановленных изображений показало, что в режиме семплирования 4:4:4 наилучшие результаты показали использование цветового пространства YUV и YCbCr (HDTV), которое дали примерно одинаковые, самые большие показатели отношения сигнала к шуму. В режиме 4:2:0 использование цветового пространства YCbCr HDTV показало наилучшие результаты по значению отношения сигнала к шуму. Вместе с тем, использование YCbCr HDTV обеспечивает наименьшее отношение максимального отклонения значений пикселей.

### Литература

1. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 384 с.
2. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. М., Техносфера, 2004. 368 с.
3. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения. М.: Техносфера, 2005. 368 с.
4. Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC), 2003
5. Image and Video Coding – Emerging Standards and Beyond. // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 1997. V. 8. № 7. P. 814–837.
6. Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, Gisle Bjontegaard, Ajay Luthra. Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard. // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. July 2003

# МОДЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРУКТУРНО СЛОЖНЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ

Л.И. Ковтун, Н.А. Шарков

Управление процессом проектирования, изготовления и эксплуатации наукоемкой продукции машиностроения требует анализа ее надежности, безопасности и модернизационных возможностей на всех стадиях жизненного цикла изделий. В статье предлагается указанный анализ осуществлять на основе имитационного и ситуационного моделирования различных технологических и организационно-деловых процессов эксплуатации корабельной техники. Целью такого анализа является обоснование управленческих решений лица, принимающего решение (ЛПР), в диалоге с моделью по планированию использования корабля и снижению стоимости «владения» корабельной техникой.

## Введение

Основной проблемой современного производства высокотехнологичной продукции является достижение высоких технических характеристик и снижение стоимости проектирования, производства и владения техникой. Машиностроение во всем мире претерпевает глубокие изменения, связанные с решением указанной проблемы путем совершенствования процессов управления характеристиками жизненного цикла сложной наукоемкой техники на базе компьютерных средств и информационно-коммуникационных технологий.

Важнейшей характеристикой продукции судостроения является эффективность использования корабля по прямому назначению, описываемая коэффициентами технического использования, оперативного напряжения, полнотой выполняемых функций в течение всего срока службы и т.п. Другой важнейшей потребительской характеристикой сложного наукоемкого изделия является величина затрат на поддержку его жизненного цикла (ЖЦ). Эти затраты складываются из затрат на разработку и производство изделия, ввод изделия в действие, эксплуатацию, поддержание его в работоспособном состоянии, утилизацию и модернизацию по истечении срока службы. Для сложного изделия (например, военно-технических систем, летательных аппаратов, кораблей, ракетных установок и т.п.), имеющего длительный срок использования (10–20 лет), затраты, возникающие на постпроизводственных стадиях, могут быть равны или даже превышать затраты на их приобретение. Сокращение затрат на поддержку ЖЦ изделия – одна из целей внедрения концепции и стратегии CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support), активно внедряемой в область систем военного назначения в высокоразвитых западных странах. Русскоязычная аббревиатура этой концепции (ИПИ) расширяется как информационная поддержка жизненного цикла изделий.

Оптимальное управление столь сложными человеко-машинными системами относится к области синтеза нелинейных динамических систем. Решение этих задач для многомерных и многофункциональных организационно-технических объектов упирается в целый ряд труднейших вычислительных проблем, для которых еще не найдены соответствующие подходы [1, стр. 446, 2]. «Для экстремальных задач с неизвестными дискретного и непрерывного характера, с функциями критерия и ограничений, заданных чаще всего алгоритмически, ... с большим количеством неизвестных различной значимости пока не существует эффективных методов решения сложных оптимизационных задач... При этом имеется тенденция преувеличения роли формального оптимизационного аппарата в принятии решения» [3].

Академик Н.Н. Моисеев считал: «По-видимому, если будет осмыслен опыт происхождения, будут найдены и пути решения нелинейного синтеза. Возможно, что решение этих вопросов будет достигнуто не на формально математическом уровне, а произойдет в результате создания новых концепций». К числу таких концепций он от-

носил эвристические подходы и методы имитационного моделирования процессов в сложных человеко-машинных системах [2].

В статье предлагается указанный анализ и синтез осуществлять на основе имитационного и ситуационного моделирования различных технологических и организационно-деловых процессов эксплуатации корабельной техники. Целью такого анализа является обоснование управленческих решений лица, принимающего решение (ЛПР), в диалоге с моделью по использованию корабля и определению стоимости «владения» корабельной техникой.

Здесь имитационное моделирование служит для получения траектории движения системы в многомерном пространстве по заданию ЛПР вариантов управляемых параметров. Ситуационный анализ базируется не на предварительном описании огромного комбинаторного множества всех ситуаций, но на знании экспертами некоторых общих правил сортировки событий, полученных методами имитационного моделирования, выделения из них существенных и формировании иерархически организованной временной последовательности целей и средств их достижения, т.е. задаются процедуры целеполагания.

### **1. Имитационное моделирование характеристик надежности, живучести и безопасности сложных комплексов корабельной техники**

Управление надежностью, живучестью и безопасностью техники является одной из важнейших задач технологии ИПИ. Оно базируется на результатах компьютерного мониторинга технико-экономических данных, получаемых с помощью средств современных микропроцессорных систем управления корабельным оборудованием и систем логистической поддержки экипажа по планированию обслуживания этой техники.

Методы управления надежностью сложных комплексов корабельной техники основаны на сборе, обработке и анализе статистических данных о работе оборудования и обслуживающего персонала и включают решения следующих задач:

- 1) сбор исходных данных (использование, наработка, отказы, ремонты);
- 2) статистическая обработка и анализ показателей надежности (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, коэффициенты готовности, технического использования);
- 3) анализ видов, последствий и критичности отказов корабельных систем, подсистем и оборудования;
- 4) расчет стоимости жизненного цикла объекта исследования (проектирования, производства и «владения» техникой);
- 5) выбор оптимальных видов технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), а также расчет их параметров.

В компьютерных системах, обеспечивающих мониторинг и логистический анализ, должны быть реализованы модели всех существующих видов ТО и Р, а именно:

- 1) по регламенту (календарный и наработка) – для оборудования, отказ которого может привести к срыву основного технологического процесса или аварии;
- 2) по отказу – для неотвеченного оборудования, отказ которого не приводит к простоям основного технологического процесса или к аварии. Для такого оборудования трудно или экономически нецелесообразно внедрять приборные средства контроля и прогнозирования технического состояния;
- 3) по фактическому состоянию – для ответственного, дорогого в обслуживании оборудования, отказ которого приводит к простоям основного технологического процесса или к аварии. Для такого оборудования должны быть использованы соответствующая приборная база, методика определения технического состояния и обученный персонал.

### 1.1. Статистическая модель динамики диагностического параметра, соответствующая принципу обслуживания оборудования по фактическому состоянию

Корабельная техника описывается достаточно большим числом различных технологических характеристик – от нескольких сотен до нескольких тысяч в зависимости от назначения и водоизмещения корабля. С помощью современных микропроцессорных систем значения технологических характеристик корабля могут контролироваться и обновляться каждые 30–60 секунд. Это обеспечивает возможность получения и обработки информации (по каждой характеристике даже за одни сутки плавания) методами математической статистики на удовлетворительном объеме выборки. Как правило, изменение технологических характеристик корабля достаточно сложно, поэтому для прогноза их изменения используется вероятностный подход. Оборудование, надежность которого контролируется технологическими и диагностическими инструментальными средствами, предлагается описывать статистической моделью изменения указанных характеристик в процессе жизненного цикла. Построение данной модели базируется на следующих принципах:

- нахождение частоты попадания реализаций СВ[ $x$ ] в каждой из  $n$  интервалов, на которые разбит диапазон распределения СВ[ $x$ ], по формуле (1):

$$p_f = \frac{k_f}{n}, \quad (1)$$

где  $k_f$  – количество значений, приходящихся на интервал под номером  $f$ ;

- на основе информации о частоте попадания значений СВ[ $x$ ] в интервалы, на которые разбит диапазон распределения СВ[ $x$ ], построение статистической функции распределения.

На основе статистической функции распределения можно определить значения СВ[ $x$ ], соответствующие вероятностям 0,95 и 0,05. Эти значения могут определять, соответственно, максимальную и минимальную оценки интервала распределения СВ[ $x$ ]. Кроме того, определяется среднеожидаемая оценка интервала распределения СВ[ $x$ ], соответствующая вероятности 0,5. СВ[ $x$ ] измеряется в определенные интервалы времени. Для каждого из  $T$  множеств измерений СВ[ $x$ ] проводится статистическая обработка, описанная выше.

Таким образом, для каждого множества измерений СВ[ $x$ ] определяются значения максимальной, минимальной и среднеожидаемой оценок интервала распределения. Эти значения формируют множество статистически обработанной информации по изменению СВ[ $x$ ].

Следует отметить, что форма представления больших объемов статистической информации в виде функции распределения аналитического вида или эмпирической гистограммы (в ограниченном числе временных интервалах множества  $T$ ) является компактной и удобной для ее хранения.

Для прогноза изменения СВ[ $x$ ] нужно математически обработать множество значений максимальных, минимальных и среднеожидаемых оценок интервала распределения. Обработка ведется с помощью простой регрессии, так как рассматривается зависимость изменения СВ[ $x$ ] только от одной переменной – времени. Можно применять простую линейную регрессию или простую нелинейную регрессию. Так как процесс изменения характеристики, как правило, имеет характер, близкий к линейному, то используется простая линейная регрессия, формула которой приведена ниже:

$$x = \beta_0 + \beta_1(t - \bar{t}), \quad (2)$$

где  $\beta_0$  и  $\beta_1$  – коэффициенты простой линейной регрессии,  $t$  – время.

Коэффициенты  $\beta_0$  и  $\beta_1$  определяются методом наименьших квадратов (МНК – оценки) по формулам (3) и (4) соответственно:

$$\beta_0 = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^T x_j ; \quad (3)$$

$$\beta_1 = \frac{\sum_{j=1}^T x_j (t_j - \bar{t})}{\sum_{j=1}^T (t_j - \bar{t})^2}, \quad (4)$$

где

$$\bar{t} = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^T t_j. \quad (5)$$

На основе формулы (2) прогнозируются изменения значений максимальных, минимальных и среднеождаемых оценок интервала распределения СВ[x].

Выполнение вышеизложенных действий осуществляет переход от статистических описаний процессов отказов оборудования к детерминированному регрессионному анализу реализаций этих процессов.

Принцип построения статистической модели приведен на рис.1.

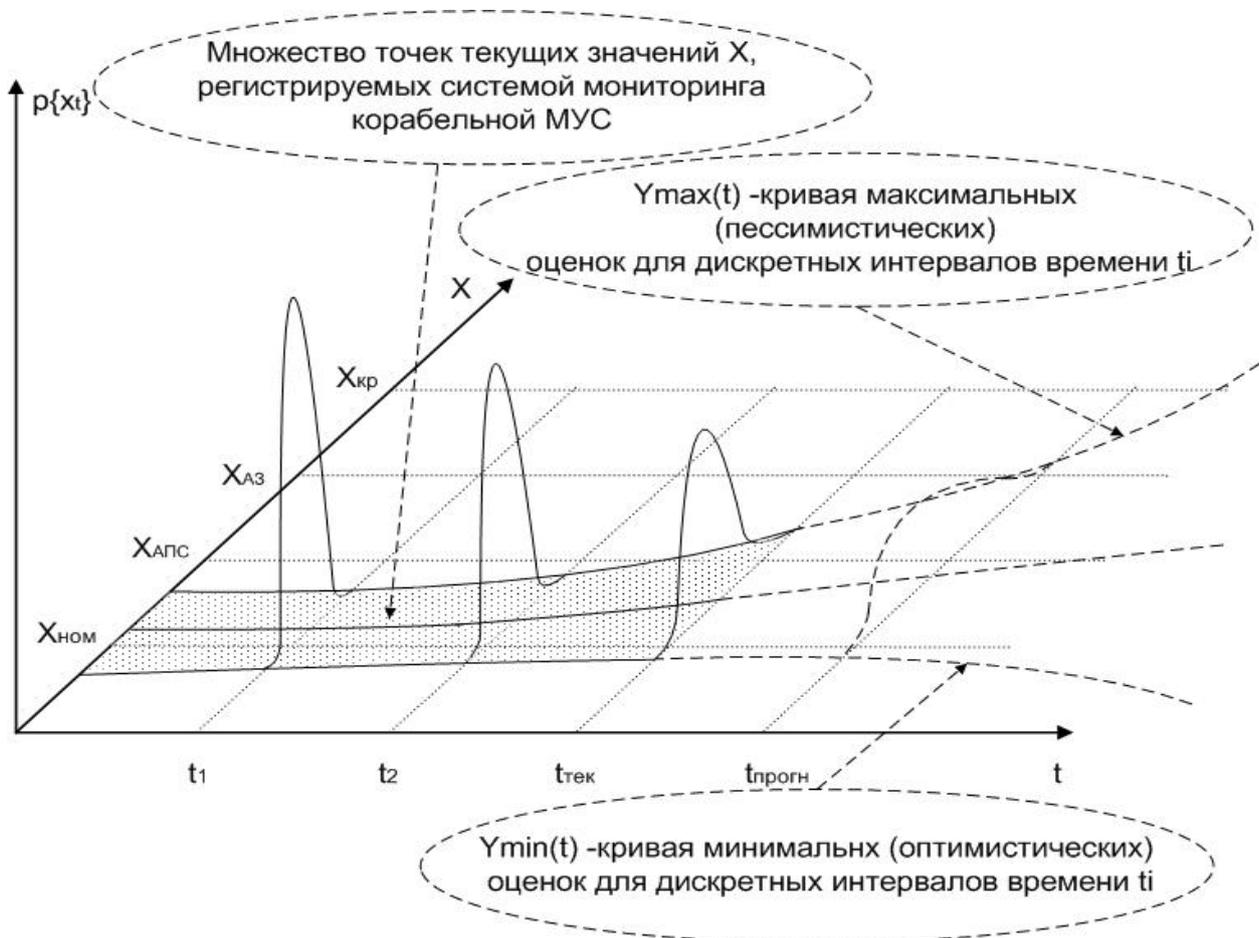


Рис. 1. Преобразование статистического описания процессов изменения характеристики X в дискретных интервалах (Xном – номинальных значений, Xапс – аварийно – предупредительной сигнализации, Xаз – аварийных значений и Xкр – критических значений) в полиномиальные зависимости простой линейной регрессии методом наименьших квадратов (детерминированные МНК-оценки)

Таким образом, описанный методический подход позволит прогнозировать изменение характеристик корабельной техники в случае их постоянного мониторинга и соответствующей математической обработки в ходе эксплуатации корабля. Такой про-

гноз, как правило, имеет незначительную временную базу упреждения, где наблюдается существенная скорость нарастания опасного параметра. Краткосрочный прогноз наиболее важен для тех технологических параметров и характеристик, изменение которых связано с нарушением основных технологических функций корабля (ход, управляемость, энергоснабжение, непотопляемость и т.д.).

### **1.2. Вероятностная модель времени надежной работы в дискретных интервалах трудоемкости обслуживания ТО и Р техники, соответствующая регламентному принципу обслуживания оборудования**

Для большинства элементов корабля можно выделить 4 класса состояний техники, для которых предусмотрено 4 вида ТО и Р:

1. ТО1 (техническое обслуживание №1) – это наименее трудоемкое обслуживание, которое может быть проведено силами экипажа;

2. ТО2 (техническое обслуживание №2) – этот вид обслуживания более трудоемок и может потребовать специального базового оборудования и запасных частей. Данный вид обслуживания может проводиться силами экипажа или силами берегового обеспечения;

3. ТО3 (техническое обслуживание №3) – этот вид обслуживания еще более трудоемок и должен проводиться только силами берегового обеспечения, с применением специальной технологической оснастки и запасных частей;

4. ЗР (заводской ремонт) – самый трудоемкий вид обслуживания. Данное обслуживание может быть выполнено только силами судоремонтного завода или предприятия – изготовителя оборудования.

Указанные четыре дискретных интервала трудоемкости обслуживания и ремонта техники могут быть ранжированы следующим образом:  $Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_4$ . Каждый из видов ТО и Р имеет свое регламентное время проведения. Таким образом, для каждого основного оборудования корабельной техники существует 4 процесса ТО и Р, соответствующие  $Q_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ), каждый из которых описывается своей функцией распределения.

Для описания процессов ТО и Р обычно выбирается функция экспоненциального распределения, представленная формулой (6):

$$Э(x; x_0) = 1 - e^{-\frac{x}{x_0}}, \quad (6)$$

где  $x$  – значение времени с момента отказа оборудования,  $x_0$  – математическое ожидание времени восстановления оборудования. Данная функция описывает вероятность завершения проведения ТО и Р в промежутке  $(0, x)$ .

В течение эксплуатации техники информация о времени проведении ТО и Р может накапливаться. На основе этой информации можно рассчитать математическое ожидание времени проведения ТО и Р по формуле (7):

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (7)$$

где  $n$  – число проведенных ТО и Р,  $x$  – время проведения ТО и Р.

Математическое ожидание, рассчитанное по указанному принципу, позволяет более точно описать процесс проведения ТО и Р техники.

Подставляя в формулу (6) время с момента отказа оборудования корабля, получаем вероятность завершения проведения его ТО и Р.

Подставляя в функции распределения прогнозные значения времени с момента отказа оборудования корабля, которые могут быть получены из ИПИ системы, можно прогнозировать потоки восстановлений на корабле.

Описание вероятности отказа техники, для которой неизвестны статистически достоверные данные по опыту ее эксплуатации, предлагается проводить по аналогии с описанием вероятностей проведения ТО и Р. В результате будет получен поток отказов техники. На рис. 2 изображен циклический процесс отказов – восстановлений работоспособности корабельной техники при различных принципах организации ТО и Р (с различными временными циклами), при котором обслуживание оборудования начинается в момент отказа и время восстановления равно нулю. Шкала времени  $t$  представлена в логарифмическом масштабе.

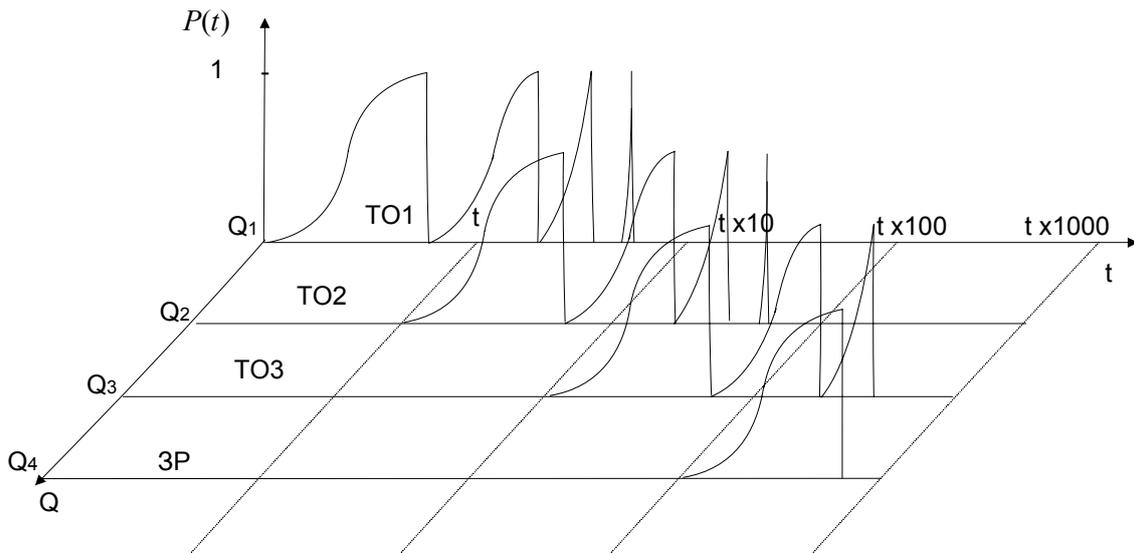


Рис. 2. Циклический процесс отказов – восстановлений работоспособности корабельной техники при различных принципах организации ТО и Р

На рис. 2  $P(t)$  – вероятность отказа техники, а  $Q$  – трудоемкость выполнения регламентных работ.

Корабль, включающий сотни экземпляров оборудования, должен описываться как система массового обслуживания с ожиданием, действующая в среде с приоритетами заявок на обслуживание от других кораблей. Указанное положение существенно усложняет применение традиционных моделей теории массового обслуживания и приводит к необходимости реализовывать сложные алгоритмы обслуживания кораблей с приоритетами в нестабильной среде. Эти требования легче всего реализовать с помощью имитационного моделирования. Однако в основе алгоритмического представления процессов лежит описание возможных переходов системы из работоспособного состояния в неработоспособное и обратно, представляемое дифференциальным уравнением (8):

$$\frac{dp_{pc}(t)}{dt} = -\lambda p_{pc}(t) + \mu p_{po}(t), \quad (8)$$

где  $p_{po}(t)$  – вероятность распределения времени регламентного обслуживания техники,  $p_{pc}(t)$  – вероятность распределения времени работоспособного состояния техники,  $\tau$  – математическое ожидание времени отказа оборудования,  $\nu$  – математическое ожидание времени восстановления оборудования,  $\lambda = 1/\tau$  – интенсивность отказов,  $\mu = 1/\nu$  – интенсивность восстановления.

Таким образом, с помощью приведенного метода описания потоков отказов и восстановлений техники, который основан на статистическом принципе, создается вероятностная модель времени ее надежной работы. Данная модель позволяет улучшить качество информационной поддержки командования в области планирования эффективного использования и эксплуатации техники.

На основе приведенного метода описания потоков отказов и восстановлений техники можно производить моделирование различных ситуаций на корабле. Это моделирование осуществляется на основе разыгрывания вероятности отказа или восстановления техники с помощью генератора случайных чисел. Такая процедура проводится для всех элементов корабля. Полученная информация анализируется, и на основе анализа даются рекомендации по повышению надежности и снижению стоимости эксплуатации корабля.

### 1.3. Четырехуровневая логико-динамическая модель комбинационного типа для описания функционирования структурно-сложных иерархически организованных корабельных систем (на примере системы электроснабжения)

Для использования информации, предоставляемой статистической и вероятностной моделями, в целях управления сложным техническим объектом необходимо ее анализировать. Выполнение работы по анализу предоставляемой информации возложено на ЛПР. Чтобы произвести такой анализ, необходимо учитывать, как связаны компоненты, оборудование, подсистемы и системы между собой. Организация этих связей для корабля, который является структурно сложным объектом, очень сложна. В условиях большого объема информации и сжатых сроков на выполнение задача анализа информации оператором практически невыполнима.

Для помощи ЛПР в анализе предоставляемой информации необходимо создавать вспомогательные инструменты. Одним из таких инструментов может являться логико-динамическая модель корабля, разработанная специалистами ФГУП ЦНИИ им акад. А.Н. Крылова. Данная модель учитывает взаимосвязи всех компонентов, оборудования, подсистем и систем корабля. Построение модели для системы электроснабжения приведено на рис. 3.

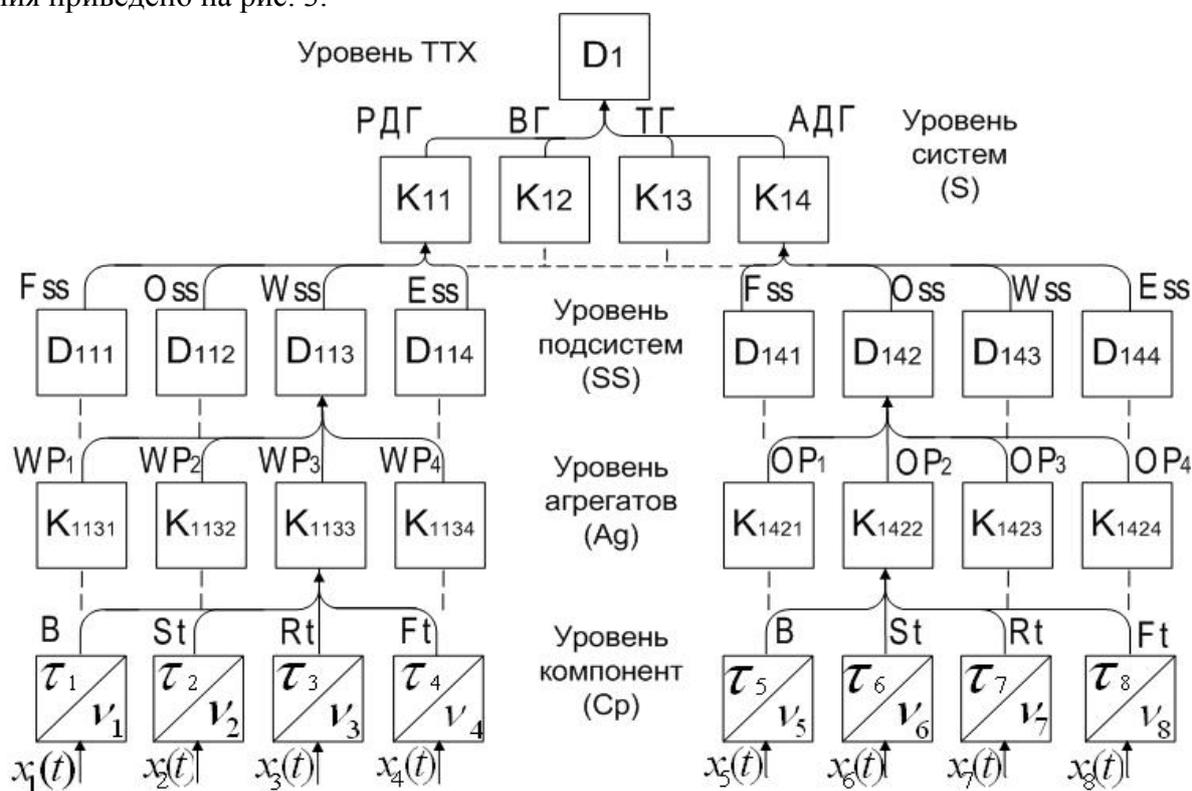


Рис. 3. Модель для системы электроснабжения

На рис. 3 использованы следующие обозначения: К – многовходовые конъюнкторы; D – многовходовые дизъюнкторы;  $X(t)$  – входные импульсные процессы, соответствующие последовательности интервалов работоспособного состояния компонентов агрегатов;  $\tau$  – постоянная времени потери работоспособного состояния компонент;  $\nu$  – постоянная времени восстановления компоненты в работоспособное состояние;  $\lambda = 1/\tau$  – интенсивность отказов;  $\mu = 1/\nu$  – интенсивность восстановления.

К – многовходовый конъюнктор –  $n$ -местный логический оператор, преобразующий воздействия  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$  в реакцию  $y(t)$  в соответствии с правилом  $n$ -местной конъюнкции:

$$y(t) = x_1 \& x_2 \& \dots \& x_n. \quad (9)$$

D – многовходовый дизъюнктор –  $m$ -местный логический оператор, преобразующий воздействия  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)$  в реакцию  $y(t)$  в соответствии с правилом  $m$ -местной дизъюнкции:

$$y(t) = x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m. \quad (10)$$

Описанным выше способом можно получить выходные импульсные процессы на всех ступенях комбинационной схемы, которые представляют поток критических событий – отказов техники. Указанные потоки событий ранжированы по степени опасности или важности. Отказы на верхней ступени (уровень систем) представляют максимальную опасность и, следовательно, имеют первостепенную важность для принятия мер по их недопущению или ликвидации, если они случились.

В общем случае функцию времени работоспособного состояния системы электроснабжения, в зависимости от интервалов времени работоспособного состояния систем, подсистем и агрегатов, можно записать в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_0 = \max_{j=1..4} [t_j^S] = \max_{j=1..4} \{ \min_{i=1..n} [t_{ij}^{SS}] \} \\ t_s = \min_{i=1..n} [t_i^{SS}] = \min_{i=1..n} \{ \max_{j=1..m} [t_{ij}^{Ag}] \} \end{array} \right. \quad (11)$$

Анализ системы сводится к поиску реакции логической схемы на заданные входные воздействия в дискретные моменты времени. Таким образом, можно зафиксировать потоки критических событий – отказов техники – на всех уровнях описания от подчиненного до старшего. При этом цепочки событий отказов от нижнего до старшего уровня, связанных причинно-следственными отношениями, представляют максимальную опасность и определяются как критические ситуации (сценарии).

Указанные уравнения позволяют перейти от методов булевой алгебры к бесконечнозначной логике. Теория бесконечнозначной логики разработана в [4] и вводит функции, областью определения которых является множество действительных чисел, а основными операциями –  $n$ -местная конъюнкция и  $n$ -местная дизъюнкция, которые позволяют определять минимальные и максимальные значения временных интервалов событий на всех иерархически организованных уровнях корабельной системы.

## 2. Описание реализации и практических результатов

До недавнего времени в России проблеме ИПИ не уделялось должного внимания, что привело к существенному отставанию отечественной промышленности в этом направлении. Сегодня эта проблема приобрела особую актуальность в связи с возрастающим стремлением отечественных предприятий (в первую очередь предприятий оборонного комплекса) выйти на международные рынки.

Иностранные заказчики оборонных систем предъявляют к российским изделиям те же требования, что и к аналогичным изделиям зарубежных фирм. В этой связи проблема организации ИПИ для изделий российских предприятий переходит в разряд первоочередных, поскольку от ее решения в значительной мере зависит конкурентоспособность отечественной наукоемкой продукции на мировых рынках.

В последние годы работа по созданию национальных CALS-стандартов проводится в России под эгидой Госстандарта РФ. С этой целью создан Технический комитет ТК431 «CALS-технологии», силами которого разработан ряд стандартов серии ГОСТ Р ИСО 10303, являющихся аутентичными переводами соответствующих международных стандартов ISO, АЕСМА (Европейская ассоциация производителей аэрокосмической техники) и НАТО.

Зарубежные разработки в области ИПИ=технологий для корабельной техники предлагают различные системы управления базами данных, используемые для сбора и обработки данных об эксплуатации техники, материально-технического обеспечения, обслуживания и ремонта изделий. Соответствующие сетевые Internet-технологии позволяют включить их в процесс создания единого информационного пространства проектанта, изготовителя и эксплуатанта корабельной техники. Однако информация, хранящаяся в базах данных, должна анализироваться, статистически обрабатываться и дополняться прогностическими моделями для оптимизации затрат. В этой области удовлетворительных предложений от западных фирм не существует.

Наши предложения в этой области включают создание формализованной технологии управленческих решений по планированию использования корабля на основе имитационного и ситуационного моделирования технологических и организационно-деловых процессов эксплуатации корабельной техники. Указанная технология содержит изложенные выше модели, позволяющие получить прогнозные потоки аварийных событий, связанных с ненадежностью техники, ненадлежащим ее обслуживанием и ошибками людей. При этом оцениваются возможные потери дорогостоящей техники и затраты на ее восстановление.

Планирование использования корабля организуется ЛПП в диалоге с ситуационной моделью, которая преобразует численные оценки в метрической шкале, полученные в ходе имитации, в эвристические оценки опасности в топологической (порядковой) шкале отношений. Здесь происходит переход от численной меры «больше–меньше» к мере отношений «лучше–хуже», что позволяет свести все разнообразные характеристики процессов к одной мере и сравнивать их в цепи причинно-связанных событий. Указанный подход основан на представлении знаний об объекте управления и способах управления им на уровне логико-лингвистических моделей [5].

Примеры использования обсуждаемых подходов в области корабельной техники представлены в [6–8]. Соответствующие работы ведутся специалистами ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова» в плановом порядке при создании учебно-тренажерной техники для подготовки экипажей кораблей в проектных организациях и в структурах систем управления безопасностью мореплавания.

### **3. Заключение**

Прогнозирование характеристик жизненного цикла системы «корабль–экипаж» на основе упреждающего имитационного моделирования технологических процессов и ситуационного моделирования поведенческих процессов людей позволяет обосновать как общие (стратегические) планы использования корабля, так и частные (тактические) планы отдельных его компонент. При этом учитывается иерархия отношений старших и подчиненных уровней ЛПП в итерационных циклах принятия управленческих решений. Метод последовательных многошаговых приближений в выборе решения на осно-

ве имитации представляется более гибким и реалистичным по сравнению с однократным решением оптимизационной задачи, для которой из-за размерности описания невозможно не только вычислить оптимизационный функционал, но даже представить его в явном виде.

### Литература

1. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. М.: Наука, 1975. 526 с.
2. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981.
3. Пашин В.М. Оптимизация судов. Л.: Судостроение. 1983.
4. Левин В.И. Структурно-логические методы исследования сложных систем с применением ЭВМ. М.: Наука, 1987. 304 с.
5. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
6. Ковтун Л.И. Современные информационные технологии в процессах управления борьбой за живучесть корабля. // Судостроение. 2002. № 3.
7. Ковтун Л.И., Поляков В.Н., Семенов С.В. Человеческий фактор и техногенные аварии на кораблях. // Судостроение. 2003. № 5.
8. Ковтун Л.И., Семенов С.В. Интеллектуальная технология автоматизированного обучения управлению аварийным кораблем на морских компьютерных тренажерах. // Судостроение. 2004. № 6.

# АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЧЕВОЙ АКТИВНОСТИ И ГЕНЕРАТОР КОМФОРТНОГО ШУМА ВЫСОКОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ

М.Б. Будько

Целью исследования является разработка адаптивной системы кодирования и передачи аудиосигналов в режиме реального времени для пакетных сетей с негарантированным качеством обслуживания. В настоящей статье рассматривается механизм прерывистой передачи речи, описываются разработанные базовые алгоритмы указанного механизма, обладающие низкой вычислительной сложностью.

## Введение

Большинство существующих сетей связи имеют достаточно развитую по охвату и содержанию инфраструктуру ввиду доступности для специализирующихся в области телекоммуникаций компаний высокотехнологичных средств. Поэтому для поддержания конкурентоспособности многие уже сейчас строят свою политику на предоставлении дополнительных услуг, что будет главным направлением развития цифровых сетей. К таким услугам относятся: видео и аудио по запросу, приложения электронного бизнеса и др.

Перспективными для передачи аудиоконтента как составляющей указанных услуг являются:

- механизм потоковой передачи;
- механизм управления битовой скоростью потока;
- механизм прерывистой передачи (DTX – Discontinuous Transmission) или кодирование с переменной скоростью.

Потоковая передача аудио позволяет пользователю начать прослушивание без полной загрузки файла, а также выполнять команды управления.

Механизм управление битовой скоростью включает:

- модуль мониторинга состояния передающей среды;
- модуль анализа и контроля, осуществляющий динамическое выделение полосы пропускания [1];
- блок, непосредственно связанный с модулем кодирования и определяющий выбор определенного алгоритма сжатия или подбор параметров кодирования в рамках одного алгоритма для динамического изменения скорости битового потока.

Для передачи речи по сетям существуют два метода кодирования:

- с постоянной скоростью;
- с переменной скоростью.

Постоянная скорость кодирования является традиционным подходом, предполагающим использование одной и той же схемы кодирования на всех речевых сегментах. Но даже при использовании алгоритмов многоимпульсного и кодового возбуждения, обеспечивающих высокое качество при относительно невысоких скоростях передачи, при скорости 4 кбит/с и меньше качество речи снижается [1].

Одна из возможностей дальнейшего снижения скорости передачи – переход к переменной скорости кодирования, основанной на том, что информация, необходимая для описания сигнала, изменяется во времени.

В речи, особенно при двустороннем разговоре, существуют паузы между звуками, словами и особенно существенные паузы между предложениями. Средняя длительность пауз может составлять до половины общего времени разговора двух абонентов. Ввиду различной информационной избыточности в представлении периодов молчания и звуков активной речи, на соответствующих сегментах могут быть применены разные схемы кодирования.

Если одновременно организовано несколько соединений, то экономия полосы пропускания оказывается существенной, что позволяет организовать еще ряд соединений без выделения или прокладки дополнительных каналов связи.

Поскольку в настоящее время существует проблема эффективного использования пропускной способности каналов связи [1], одной из актуальных задач, наряду с комплексным управлением битовой скоростью потока, является разработка алгоритмов кодирования речи с переменной скоростью и модификация существующих алгоритмов для перехода к переменным скоростям передачи.

### Основная часть

Существуют следующие способы кодирования речи с переменной скоростью:

- на основе фонетической классификации;
- на основе энергетической классификации;
- обеспечивающие постоянное качество синтезированной речи.

В ходе исследования были проанализированы:

- указанные способы, на примерах конкретных реализаций;
- стандарты ITU-T G729 Annex B и G723.1 Annex A, включающие описания функциональных блоков для определения периодов молчания;
- RFC 3389, описывающий формат полезной нагрузки комфортного шума.

В результате были построены общие схемы кодирования и декодирования с переменной скоростью и выделены характерные для указанных схем функциональные блоки (рис. 1, 2):

- алгоритм определения речевой активности (VAD – Voice Activity Detector);
- генератор комфортного шума (CNG – Comfort Noise Generator).



Рис. 1. Общая схема механизма прерывистой передачи при обработке фрагмента речи в передатчике

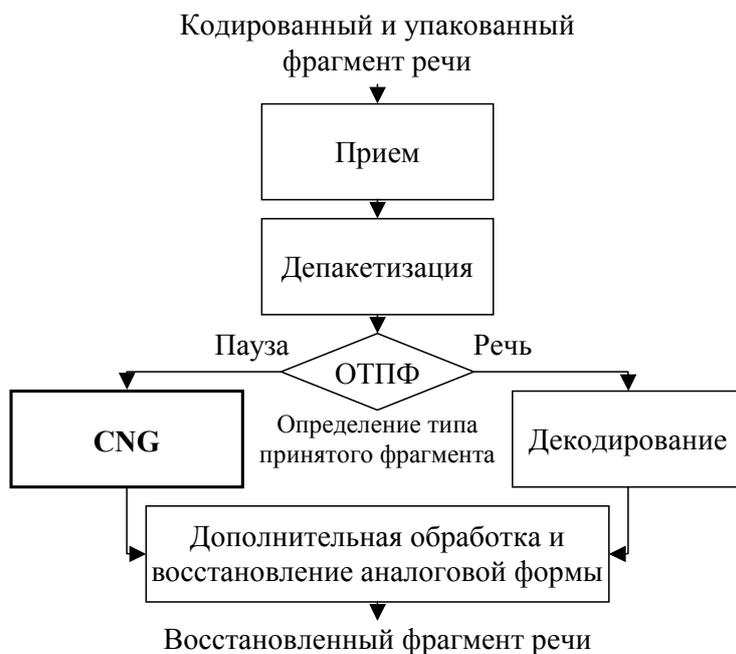


Рис. 2. Общая схема механизма прерывистой передачи при обработке фрагмента речи в приемнике

Механизм VAD нашел широкое применение при обработке речи в таких приложениях, как [2]:

- кодирование речи;
- распознавание речи;
- подавление эхо;
- уменьшение уровня шума;
- синтез речи.

Общая схема VAD представлена на рис. 3.

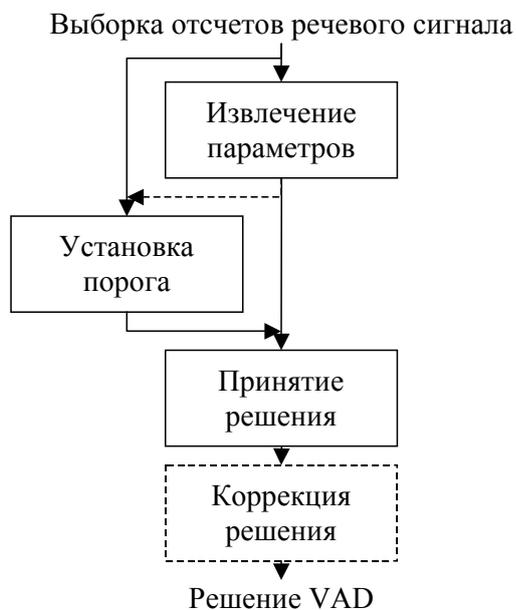


Рис. 3. Общая схема механизма определения речевой активности

В ранних VAD-алгоритмах параметры сигнала выделялись в результате вычисления:

- кратковременной энергии сигнала;

- скорости переходов через ноль;
- коэффициентов линейного предсказания.

Последние разработки основаны на определении:

- кепстра сигнала;
- формы формант;
- периодичности сигнала.

Следовательно, анализ сигнала может производиться во временной или частотной областях.

Наиболее очевидная характеристика фонового шума – громкость, что справедливо для большинства приложений. Именно этот параметр является обязательным в соответствии с RFC 3389.

VAD может быть реализован двумя способами:

- программно;
- аппаратно.

Аппаратные реализации позволяют использовать более эффективные и, как правило, трудоемкие алгоритмы. Примером может служить цифровой процессор фирмы Texas Instruments, использующий алгоритм быстрого преобразования Фурье для принятия решения о наличии активной речи.

Когда присутствуют короткие паузы между слогами и словами, детектор речевой активности переключается очень быстро, прерывая тем самым предшествующий сглаженный разговор. Для избежания частых переключений в передатчике используется таймер затягивания. Пока таймер запущен, посылаются пакеты, соответствующие активной речи, даже если детектор определил наличие тишины. Такой подход реализован, например, компанией Cisco. Эта же компания на стороне приемника для сглаживания переходов между речевыми и шумовыми последовательностями, а также между двумя шумовыми с разными параметрами использует внедрение белого или розового шума.

Некоторые реализации VAD требуют сохранения в памяти до нескольких десятков миллисекунд информации, чтобы иметь возможность запустить передачу до начала периода активности. Это увеличивает, в некоторой степени, задержку прохождения сигнала, однако ее можно минимизировать или свести к нулю в кодерах, работающих с блоками отсчетов, которые выделяются при разбиении анализируемой выборки, или посредством передачи задержанных пакетов с активной речью с более высоким приоритетом.

Наиболее типичными ошибками работы VAD являются:

- определение речи как шума;
- определение шума как речи.

Необходимость использования CNG диктуется следующим: поскольку отключение фонового шума на выходе приемника в паузах раздражает абонента и снижает разборчивость речи, применение комфортного шума в паузах считается необходимым и является стандартом де-факто.

Механизм DTX в приемнике может включать также модуль обработки ситуаций, связанных с потерей пакетов. Алгоритм работы указанного модуля в настоящей статье не рассматривается.

Основные требования, предъявляемые к алгоритмам VAD и CNG:

- относительно низкие вычислительные затраты, поскольку работа ведется на речевом фрагменте «вместе» с кодированием и другими алгоритмами обработки речи в режиме реального времени;
- быстрая адаптация к изменению уровню шума (фона);
- быстрая реакция на начала звуков после паузы;

- восприятие фрикативных звуков (*ч, ш* и т.д.) как активной речи, а не фона;
- синтез комфортного шума, близкого по звучанию к естественному;
- высокие показатели работы алгоритма VAD при низком показателе SNR (Signal Noise Ratio – отношение сигнал/шум), т.е. в случае, при котором уровень шума может даже превышать уровень сигнала.

В разработанном программном продукте учтены все пункты, кроме последнего. Стабильность работы алгоритма VAD в случае большой зашумленности сигнала требует работы со спектрами или использования других, достаточно трудоемких для вычислительной техники алгоритмов. Решение этого вопроса требует дополнительного исследования.

Следует отметить, что время обработки не должно превышать интервал времени между последовательными пакетами. То есть, если каждый пакет содержит 20 мс речи, то во избежание дополнительных задержек и потерь пакетов время работы алгоритма на конкретном устройстве не должно превышать 20 мс с учетом кодирования.

Предложенный алгоритм VAD имеет вычислительную сложность менее 300 000 простейших арифметических операций над числами с плавающей точкой при обработке 1 с речи, рассчитанную по максимальной ветви программы, что позволяет, наращивая его функциональность, увеличить вычислительную сложность почти на порядок.

CNG практически не требует процессорного времени, поскольку его работа состоит в интерпретации принятого байта как усредненной амплитуды фона и проигрывании (при необходимости циклически) заранее записанного в файл и считанного при инициализации в буфер шумового сэмпла с учетом принятого значения громкости.

Алгоритм VAD основан на работе с адаптивными уровнями фона и активной речи с фоном. Формулы для расчета соответствующих уровней аналогичны и имеют вид:

$$AL_{cur} = (1 - \alpha) \cdot AL + \alpha \cdot P_{cur},$$

где  $AL_{cur}$ ,  $AL$  – рассчитанный адаптивный уровень сигнала с учетом текущего и предыдущего отсчетов, соответственно;  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) – константа, определяющая скорость реакции на текущий отсчет сигнала;  $P_{cur}$  – мощность текущего отсчета сигнала, вычисленная как квадрат его амплитуды. При приходе следующего отсчета  $AL_{cur}$  в формулу подставляется как  $AL$ .

Кратко один цикл работы VAD можно описать следующим образом:

- запоминаем предыдущий  $AL_1$  (адаптивный уровень 1), характеризующий фон;
- считаем  $AL_1$ ;
- считаем  $AL_2$  (адаптивный уровень 2), характеризующий активность речи;
- сравниваем отношение  $AL_2 / AL_1$  с заданным пороговым значением;
- если идет первая секунда разговора или количество превышений порога больше заданного процента от размера пакета, то принимается решение о наличии активной речи. При этом в качестве  $AL_1$  подставляется предыдущее сохраненное значение;
- в другом случае принимается решение о наличии только шума. Тогда в начале каждого периода молчания, а затем через каждую секунду формируется уровень комфортного шума, исходя из значения  $AL_1$ .

Для тестирования применялась схема без использования кодирования.

На рис. 4, 5 и 6 представлены графики изменения исходного сигнала, решения VAD и отношения  $AL_2$  к  $AL_1$  во времени, соответственно. На графиках отображен один и тот же временной интервал. Подписи к осям  $x$  и  $y$  не приводятся, так как в конкретном случае они не несут смысловой нагрузки, внимание следует уделять изменению графиков.

На рис. 4 приводится пример непрерывной речи. На рис. 5 верхние участки графика являются решениями VAD о наличии периодов молчания. Даже визуально можно определить, насколько механизм VAD позволяет сократить объем передаваемых дан-

ных. Рис. 6 демонстрирует принцип, на основании которого VAD принимает решение. Пунктирной линией на рис. 6 обозначено выбранное значение порога.

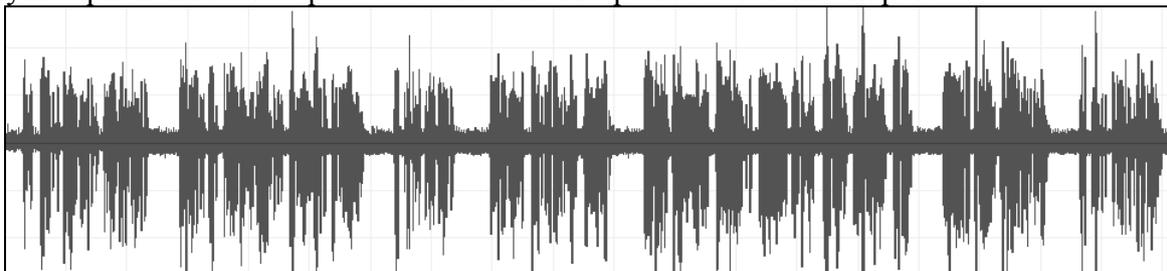


Рис. 4. График изменения исходного сигнала во времени

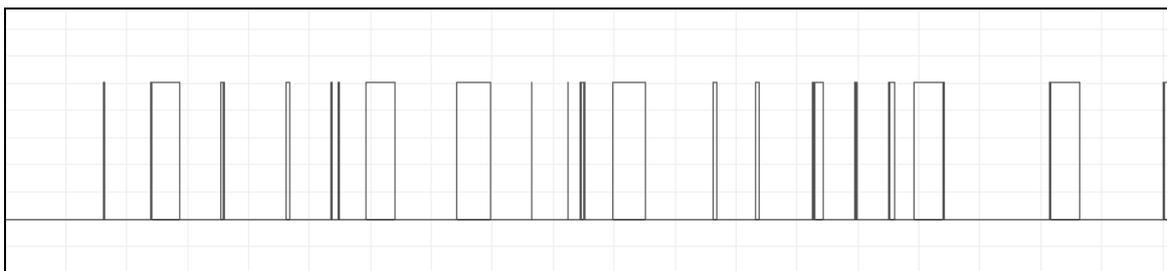


Рис. 5. График изменения решения VAD во времени

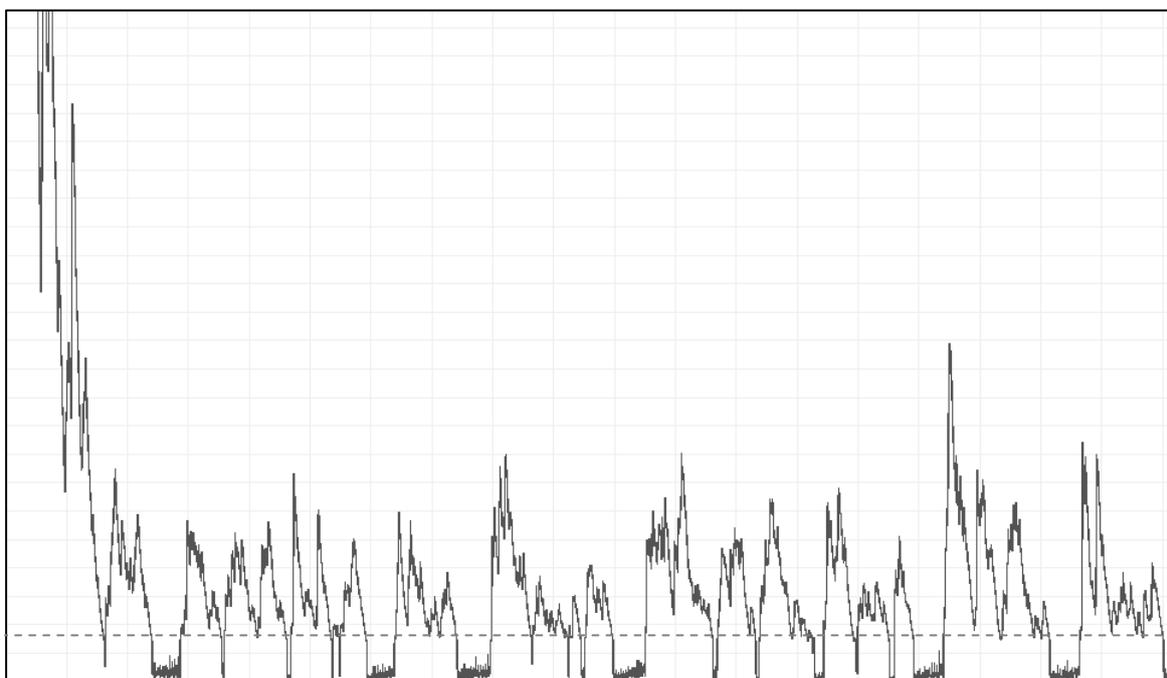


Рис. 6. График изменения отношения  $AL_2$  к  $AL_1$  во времени

В результате выполнены следующие пункты:

- разработка базовых алгоритмов VAD и CNG;
- подбор фонового шума (адаптированный коричневый шум), прокручиваемого циклически (если пауза длится более одной секунды);
- адаптация алгоритма VAD для быстрой речи и шумовых звуков (с помощью деления блока данных на подблоки и их дифференциальной оценки; особое внимание уделяется последнему подблоку, который может содержать начало звукового сегмента);
- введение дополнительного параметра: допустимого процента превышений порога, при котором блок данных оценивается еще как шум (защита от импульсных помех,

увеличение параметра улучшает работу VAD, но может «резать» речь – необходима настройка);

- внесение в программу блоков обработки тестовых звуковых файлов вне real time для возможности получения и сравнения графиков:
  - адаптивного уровня для шума;
  - адаптивного уровня для голоса;
  - отношения указанных уровней;
  - решения VAD;
  - итогового звука;
- интерфейс с возможностью настройки всех возможных параметров шума и выводом результата работы VAD в процентах для real time речи и хранимых файлов (для быстрого сравнения результатов работы VAD);
- выбор основного регулируемого параметра для подстройки под различные типы речи (допустимый процент превышений порога, при котором блок данных оценивается еще как шум);
- анализ кода функций VAD и CNG на предмет количества операций с плавающей точкой.

### **Заключение**

В статье рассмотрен механизм прерывистой передачи аудиосигнала и описаны разработанные базовые алгоритмы указанного механизма.

### **Литература**

1. Быков С.Ф., Журавлев В.И., Шалимов И.А. Цифровая телефония. М.: Радио и связь, 2003. С. 94–109.
2. Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л. IP-телефония. М.: Радио и связь, 2001. С. 67–93.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛИС И ПРОЦЕССОРОВ DSP ДЛЯ ЗАДАЧ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

А.Г. Черемисин

В статье рассматриваются основные преимущества и недостатки применения ПЛИС и процессоров DSP применительно к задаче цифровой обработки сигналов. Приводится сравнение вычислительных возможностей современных представителей микросхем ПЛИС и процессоров DSP на примере реализации целочисленного преобразования Фурье.

### Введение

При создании устройств цифровой обработки сигнала во главу угла всегда ставится элементная база. В настоящее время большинство разработчиков использует для реализации алгоритмов обработки цифровые сигнальные процессоры (DSP) общего назначения.

Вместе с тем DSP имеют и ряд недостатков, которые, безусловно, приходится учитывать при разработке новых изделий. Во-первых, каждое семейство DSP имеет собственные коды команд, поэтому практически невозможен перенос реализованного на одном DSP алгоритма на процессоры других семейств или создание универсальных библиотек алгоритмов. Даже существование компиляторов с языков высокого уровня не снимает данную проблему, так как они ориентированы на конкретные DSP. Во-вторых, при реализации сложных структур приходится увеличивать число процессоров и обеспечивать их работу в мультипроцессорном режиме.

До недавнего времени качество DSP определялось только скоростью выполнения операций умножения/ сложения или количеством операций в секунду. Однако сегодня, при насыщенном рынке мощных DSP, на первое место выходят другие требования. Они связаны с архитектурными решениями процессора и расширенными функциональными возможностями – наличием высокоскоростных гибких арифметических средств.

Как известно, альтернативой DSP при реализации цифровых устройств являются ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы). В числе их главных достоинств обычно отмечают следующие: возможность реализации сложных параллельных алгоритмов; наличие средств САПР, позволяющих проводить полное моделирование систем; совместимость при переводе алгоритмов на уровне языков описания аппаратуры (VHDL, AHDL, Verilog и др.); наличие библиотек программ, описывающих сложные алгоритмы.

### Возможности современных ПЛИС и DSP

История развития DSP процессоров и ПЛИС началась примерно в одно и то же время – в конце 70-х годов прошлого века. Однако в первые десятилетия после появления процессоры развивались более стремительно, вследствие чего получили большее распространение и стали стандартным решением для реализации алгоритмов ЦОС. В эти годы ПЛИС продолжали совершенствоваться, однако не получали широкого распространения и применялись для узкого круга задач. За это время был приобретен большой опыт разработки и реализации проектов ЦОС на сигнальных процессорах.

Использование DSP процессоров, несмотря на их широкое распространение, сопровождается проблемами, связанными с отсутствием какой-либо стандартизации языков программирования. И всякий раз перед разработчиками встает одна и та же проблема: реализованный однажды алгоритм для какого-либо процессора при переходе на новую элементную базу приходится переписывать заново. Эту проблему не решает полностью и использование языков высокого уровня.

С созданием проектов для ПЛИС также не все так просто. В последнее десятилетие рынок микросхем ПЛИС характеризовался бурным развитием и популярностью. Это объясняется тем, что данный класс микросхем стал предоставлять весьма широкие возможности, развитие технологии изготовления ПЛИС позволило догнать, а в некоторых случаях и обогнать процессоры в гонке частот, притом, что ПЛИС позволяют вести параллельную обработку данных. Однако при создании проектов для ПЛИС разработчики столкнулись с рядом проблем. Во-первых, описание таких проектов требует навыков, несколько отличных от программирования. Во-вторых, огромный опыт описания различных алгоритмов для сигнальных процессоров, как оказалось, весьма трудно переложить на аппаратную реализацию.

Идя навстречу разработчикам, ведущие фирмы-производители ПЛИС, такие как Altera и Xilinx, наряду с предоставляемыми ими устройствами, предлагают также готовые, настраиваемые, функциональные блоки, выполняющие типичные функции, используемые в цифровой обработке сигналов. Фирма Altera, в частности, предлагает блоки выполняющие быстрые преобразования Фурье, а также блоки, в которые включены различные наборы КИХ-фильтров. Производителями предлагается также ряд программных пакетов, призванных упростить разработку проекта и сократить сроки его выхода на рынок.

Приведем программные пакеты, предлагаемые фирмами Altera и Xilinx.

- Altera:
  - DSP Builder,
  - ModelSim Altera Edition,
  - SOPC Builder,
- Xilinx:
  - System Generator for DSP,
  - AccelChip DSP Synthesis,
  - The Mathworks & Simulink.

Эти программные продукты упрощают процесс создания, а также позволяют производить полное моделирование систем DSP.

Вернемся все же к возможностям, предоставляемым процессорами и микросхемами программируемой логики. Для сопоставления вычислительных возможностей микросхем этих направлений нами выбрано несколько современных представителей процессоров DSP и ПЛИС известных фирм. В данном обзоре рассматриваются микросхемы ПЛИС с архитектурой FPGA. Этот класс микросхем является на сегодняшний день наиболее распространенным и интенсивно развивающимся. Микросхемы FPGA из всех классов, представленных на рынке ПЛИС, характеризуются наибольшей емкостью и быстродействием.

В качестве показателя для оценки производительности было выбрано время выполнения алгоритма быстрого целочисленного преобразования Фурье. В таблице приведены некоторые сведения о скорости выполнения такого преобразования на процессорах DSP, а также на микросхемах ПЛИС с реализованными в них IP блоками.

Как видно из таблицы, время выполнения преобразования на представленных микросхемах отличается незначительно. Следует, однако, помнить, что при выполнении подобной задачи процессор будет загружен полностью, и попытка возложить на него еще какие-либо функции неизбежно приведет к резкому увеличению времени об-

работки. С ПЛИС ситуация иная: в них степень загруженности микросхемы определяется количеством ресурсов (макроячеек, DSP блоков, аппаратных умножителей и т.д.), занимаемых реализованным в ней проектом. Поэтому добавление новых функций практически никак не отражается на скорости работы старых.

Устройство	Число тактов преобразования	Время преобразования (мкс)	Максимальная частота работы	Максимальное число параллельных преобразований
Altera Stratix II EP2S15F484C3 [1]	491	1,51	324,36	10–115
Xilinx Virtex 4 XC4VSX25 [4, 5]	1400	2,8	500	16–49
Analog Devices TigerSHARC ADSP-TS201S [6]	585	0,975	600	1
Texas Instruments TMS320C6455 [7]	806	0,806	1000	1

Таблица. Преобразование Фурье с фиксированной точкой (алгоритм Radix - 2, длина 16 бит, число отсчетов 256)

В сравнении, приведенном выше, не учитывался такой важный показатель, как стоимость микросхем. Однако при построении любой коммерческой системы этот показатель нельзя не учитывать. Стоимость процессоров DSP, приведенных в таблице, составляет, в зависимости от исполнения, 150–200\$, тогда как стоимость микросхем ПЛИС, рассмотренных выше, начинается примерно с 300\$ для микросхем минимальной емкости и доходит без малого до 10000\$ за микросхему максимальной емкости. Однако, что касается ПЛИС, то рассмотренные здесь семейства являются наиболее дорогими из представленных на сегодняшнем рынке. Существуют также и бюджетные семейства ПЛИС, такие как Altera Cyclone II и Xilinx Spartan [3, 4]. Цены на микросхемы этих семейств лежат в пределах 10–300\$, что часто дешевле высокопроизводительных процессоров. При этом, если сравнивать микросхемы этих семейств с ПЛИС семейств Stratix или Virtex, нетрудно заметить следующие зависимости. Микросхемы бюджетных семейств обладают в среднем в 2–3 раза меньшей емкостью, работают на частотах в 2–3 раза меньше, и реализация в них тех же функций потребует в 1,5–2 раза большего числа макроячеек по сравнению с высокопроизводительными микросхемами семейств Stratix и Virtex [2–4].

Если сравнить бюджетные семейства ПЛИС с высокопроизводительными DSP-процессорами по производительности, мы увидим, что при схожих ценах процессоры выигрывают в скорости выполнения преобразования Фурье примерно на порядок, однако столько же проигрывают при параллельной обработке данных.

Все приведенные выше рассуждения касались обработки целочисленных данных. Если же стоит задача обработки данных с плавающей точкой, преимущество вновь получают процессоры DSP. Современные процессоры способны выполнять многие операции с плавающей точкой за один такт, что недоступно для ПЛИС. Производители микросхем ПЛИС поставляют готовые IP-блоки и программные продукты, призванные упростить разработку проектов, в которых требуется обработка данных с плавающей точкой. Однако в современных ПЛИС еще не появилось никакой аппаратной поддержки для работы с нецелочисленными данными, а это приводит к тому, что функции, работающие с такими данными, являются весьма ресурсоемкими и способны работать лишь на сравнительно небольших частотах.

## Заключение

- Применение ПЛИС выгодно при построении систем, в которых требуется многоканальная обработка данных или многоступенчатая фильтрация.
- ПЛИС позволяют эффективно реализовать сложные параллельные алгоритмы даже на микросхемах относительно недорогих семейств.
- Процессоры DSP имеют преимущество при выполнении последовательных или насыщенных циклами алгоритмов, а также при реализации сложных алгоритмов, требующих вычислений с плавающей точкой.
- Процессоры лучше подходят для реализации малобюджетных проектов, проектов, не требующих большой вычислительной мощности, а также для создания устройств с низким энергопотреблением.

## Литература

1. FFT MegaCore Function User Guide. / Altera, 101 Innovation Drive, San Jose, CA 95134 (408) 544-7000, [www.altera.com](http://www.altera.com)
2. Stratix II Device Handbook. / Altera, 101 Innovation Drive, San Jose, CA 95134 (408) 544-7000, [www.altera.com](http://www.altera.com)
3. Cyclone II Device Family Data Sheet. / Altera, 101 Innovation Drive, San Jose, CA 95134 (408) 544-7000, [www.altera.com](http://www.altera.com)
4. Fast Fourier Transform v3.2. / Xilinx, 2100 Logic Drive, San Jose, CA 95124-3400, USA, [www.xilinx.com](http://www.xilinx.com)
5. Virtex-4 Family Overview. / Xilinx, 2100 Logic Drive, San Jose, CA 95124-3400, USA, [www.xilinx.com](http://www.xilinx.com)
6. TigerSHARC Processor Benchmarks. / Analog devices, [www.analog.com](http://www.analog.com)
7. TMS320C64x Core Benchmarks. / Texas Instruments, [www.ti.com](http://www.ti.com)

# ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ КАРТ ВО ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМАХ

Д.Р. Ковязина, Е.В. Петров

Технология флэш-памяти, лежащая в основе мультимедийных карт, является одной из самых популярных технологий производства носителей информации на сегодняшний день. В статье рассматривается рынок мультимедийных карт, проводится их сравнительный анализ и предлагается решение по применению карт памяти во встраиваемых системах.

## Введение

С каждым годом мультимедийные карты (или карты памяти) становятся все более доступными и распространенными. Наблюдается устойчивая тенденция к снижению цен, растет объем, повышается быстродействие. Изначальная сфера применения карт памяти – цифровая фотография – расширена, и на сегодняшний день данные носители зачастую приобретаются для карманных персональных компьютеров (КПК), мобильных телефонов, mp3-плееров, цифровых диктофонов и других устройств, работающих с мультимедийной информацией.

Мультимедийные карты – это портативные энергонезависимые носители информации на базе флэш-памяти. Сейчас флэш – одна из основных технологий полупроводниковой памяти. Информация, записанная во флэш-память, может храниться очень длительное время и способна выдерживать значительные механические нагрузки [7]. Благодаря низкому энергопотреблению, компактности, долговечности, относительно высокому быстродействию, флэш-память идеально подходит для использования в качестве накопителя в портативных цифровых устройствах. Эти же характеристики являются привлекательными для применения карт памяти во встраиваемых системах (ВсС) в качестве внешней сменной флэш-памяти большой емкости. Такую память можно использовать для хранения конфигураций, показаний датчиков, журнала событий и действий ВсС и др. Возможность форматирования карт под стандартные файловые системы позволяет без особого труда переносить данные с персонального компьютера во ВсС и обратно. Кроме того, стандарты некоторых карт памяти позволяют использовать их разъемы для подключения устройств различного назначения: приемо-передатчик Bluetooth, модем, GPS-приемник, диктофон и др.

Проблема состоит в том, что компании-производители мультимедийных карт ориентированы на конечного пользователя, и, соответственно, традиционное применение и зачастую информация об их продукции и ее применении не является открытой и общедоступной. Таким образом, была сформулирована задача: исследовать рынок мультимедийных карт; разработать инструментальный комплекс, обеспечивающий работу с картами памяти, для применения во ВсС; обеспечить возможность последующего использования разработки во ВсС с различными платформами. В данной статье изложены основные положения этой исследовательской работы.

## 1. Обзор мультимедийных карт

### 1.1. Основные характеристики мультимедийных карт

Основными представителями современного рынка мультимедийных карт являются CompactFlash, MultiMedia Card (MMC), Secure Digital Card (SD), Memory Stick, SmartMedia. При этом самые распространенные карты памяти – это SD и MMC, второе место делят Memory Stick [2] и CompactFlash [5], карты SmartMedia [6] становятся историей, так как устройства, поддерживающие данный стандарт, снимаются с производства. Сравнительные характеристики мультимедийных карт приведены в таблице 1.

Большинство карт памяти (кроме SmartMedia) содержит дополнительно к микросхеме флэш-памяти встроенный контроллер. При этом на скорость работы карты критическое влияние оказывает быстроедействие обоих элементов. На сегодняшний день существует несколько технологий флэш-памяти, наиболее распространенными из которых являются NAND и NOR [7, 8]. Основные различия между ними состоят в следующем: более дорогостоящая NOR-память обладает высокой скоростью произвольного доступа и возможностью работы на уровне отдельных байтов. А NAND-память имеет страничную организацию и высокую скорость считывания, но не может предоставлять случайный побайтовый доступ. В большинстве карт памяти используется именно NAND-технология.

Эффективность контроллера, играющего роль интерфейса между флэш-памятью и хост-устройством, оказывает сильнейшее влияние на скорость работы карты. Как правило, в контроллер встраивается небольшой буфер чтения/записи, позволяющий ускорить доступ к памяти, логический блок коррекции ошибок ECC, блок управления дефектными секторами флэш-памяти и др. Наличие контроллера упрощает коммуникацию между флэш-картой и устройством, в котором она используется [7]. Отсутствие контроллера позволяет несколько уменьшить конечную стоимость флэш-карты, уменьшить её габариты, вес, а также распорядиться памятью так, как это удобно разработчикам устройств, использующих флэш-память, однако все заботы о целостности данных, хранящихся на карте, ложатся на само устройство. Так что в устройство приходится встраивать свой собственный контроллер, реализующий ECC и другие функции. Кроме того, в мультимедийных картах со встроенными контроллерами есть регистры, содержащие информацию об используемой карте. Контроллер имеет систему команд, при помощи которых можно организовать чтение, запись, стирание данных карты, получить параметрические данные карты и т. д.

	MMC	SD	CompactFlash	Memory Stick	SmartMedia
Габариты (мм)	32.0 x 24.0 x 1.4	32.0 x 24.0 x 2.1	36.4 x 42.8 x 3.3	50.0 x 21.5 x 2.8	45.0 x 37.0 x 0.76
Напряжение питания (В)	2.7 – 3.6	2.7 – 3.6	3.3 или 5	2.7 – 3.6	3.3 или 5
Контакты (шт.)	7	9	50	10	22
Файловая система	FAT	FAT	FAT	FAT	FAT
Емкость (Гб) <sup>1</sup>	2	4	12	4	0,5
Интерфейс	MMC, SPI	SD, SPI	IDE	MS	SM
Скорость чтения/записи (Мб/с)	2 / 2	8 / 6	8 / 7	10 / 8	4 / 2.3
Температура работы, хранения (°C)	от -25 до +85 от -40 до +85	от -25 до +85 от -40 до +85	от 0 до +70 от -25 до +85	от -25 до +85 от -40 до +100	от 0 до +55 от -20 до +65
Наличие встроенного контроллера	Да	Да	Да	Да	Нет

Таблица 1. Сравнительные характеристики мультимедийных карт

<sup>1</sup> Максимальная емкость карт памяти на сегодняшний день.

В настоящее время стандартной файловой системой для большинства флэш-карт является FAT16. Однако FAT16 не поддерживает накопители объемом свыше 2 Гб. Поэтому для флэш-карт большего размера используется файловая система FAT32. В то же время некоторые компании-производители придумывают оригинальную конструкцию своих карт памяти, которая позволяет при работе с FAT16 использовать полную емкость карты, большую, чем 2 Гб. Кроме перечисленных стандартных файловых систем, карта памяти может быть отформатирована под собственную файловую систему.

Энергопотребление мультимедийных карт представлено следующим образом: карта CompactFlash может работать с любым из двух видов питания (3,3 В или 5 В), в отличие от карт SmartMedia, существующих в двух различных версиях – 3,3 В и 5 В; в спецификации MMC и SD предусмотрены карты с пониженным энергопотреблением (1,6 – 3,6 В), кроме того, эти карты могут находиться в «спящем» (неактивном) состоянии, которое тоже характеризуется пониженным энергопотреблением.

По типам интерфейсов мультимедийные карты можно разделить на последовательные (MMC), последовательно-параллельные (SD, Memory Stick) и параллельные (CompactFlash, SmartMedia). В картах памяти с последовательно-параллельным интерфейсом число линий, по которым передаются данные, может быть равно 1 (последовательный) и 4 (параллельный). Последовательный интерфейс для карт MMC [3] и SD [4] может быть реализован в двух режимах: собственный MMC (SD) и SPI. Режим SPI является частью протокола MMC (SD) и используется для коммуникации с микроконтроллерами, поддерживающими данный интерфейс. С точки зрения приложения преимущество использования режима SPI состоит в возможности использования уже готовых решений, уменьшая затраты на разработку до минимума. Недостаток состоит в потере производительности на SPI системах по сравнению с MMC (SD) [7]. Протокол взаимодействия с мультимедийной картой (MMC, SD) по последовательному интерфейсу выглядит следующим образом: передача команды, прием ответа, свидетельствующего об успешном/ошибочном приеме картой памяти команды, прием/передача данных (необязательно).

В таблице 1 приведены скорости чтения/записи данных на мультимедийные карты с учетом файловой системы, т.е. с использованием карт-ридеров для обмена данными с картой [9]. К недостаткам мультимедийных карт как флэш-памяти можно отнести медленную запись в произвольный участок памяти и отсутствие побайтной записи, причем количество циклов перезаписи ограничено и равняется в среднем 100000.

## **1.2. Выбор мультимедийной карты для применения во встраиваемых системах**

Среди всех характеристик для применения карт памяти во ВcС особенно важными являются: габариты, энергопотребление, температура работы и хранения, интерфейс, наличие встроенного контроллера, скорость чтения/записи, механическая надежность, открытость спецификаций.

Карты CompactFlash проигрывают остальным картам по габаритам и температурным показателям, зато скоростные показатели этой карты – отличные, но поддержать такой интерфейс сложно: микроконтроллер должен обладать немалыми ресурсами. Карты SmartMedia не содержат в себе контроллера, поэтому невыгодно их использовать (эта проблема обсуждалась ранее). Контакты этих карт требуют бережного отношения, их следует протирать сухой тряпочкой в случае загрязнения или попадания на них влаги [7]. Карты Memory Stick уступают картам MMC и SD по габаритам и прочности, так как они длинные, тонкие и более хрупкие. У SD карт за счёт более толстой пластиковой оболочки улучшена стойкость к статическим разрядам. К тому же спецификация Memory Stick карт не является общедоступной.

Таким образом, мы остановили свой выбор на картах памяти MMC и SD. К достоинствам этих носителей можно отнести то, что фактически карты SD являются дальнейшим развитием стандарта MMC. Флэш-карты SD обратно совместимы с MMC, т.е. в устройство с разъемом SD можно вставить MMC, но не наоборот. Наличие в этих картах режима работы SPI делает их особенно привлекательными, так как многие современные микроконтроллеры поддерживают этот интерфейс. Малое количество контактов и простота интерфейса, обилие информации об этих картах и открытые спецификации тоже повлияли на выбор.

## 2. Исследовательская работа

### 2.1. Экспериментальный стенд

Для проведения практических исследований требовался достаточно простой и удобный в использовании микроконтроллер, обладающий следующими характеристиками: возможность подключения внешних устройств; легкое и быстрое программирование; наличие необходимых ресурсов памяти и аппаратных средств (контроллер SPI, возможность соединения с персональным компьютером).

Всем этим требованиям отвечает учебный лабораторный стенд SDK-5.0R2 фирмы ЛМТ. Стенд SDK-5.0R2 построен на базе микроконтроллера PIC18F4585 фирмы Microchip, имеет гальванически изолированный порт RS-232, легко программируется (через специальный разъем программирования или по последовательному каналу с помощью встроенного загрузчика). Линии интерфейса SPI выведены на внешний разъем, к которому можно подключить внешнее устройство. Кроме того, стенд имеет светодиодный индикатор, который удобно использовать для отладки.

### 2.2. Аппаратное обеспечение

Так как напряжение питания мультимедийных карт SD/MMC составляет 3,3 В, то их подключение к микроконтроллерам, имеющим другое рабочее напряжение, может вызвать сложности (прямое соединение выводов невозможно). Такая проблема возникла в ходе исследований, так как напряжение питания микроконтроллера PIC18F4585 составляет 5 В. Для решения этой проблемы была разработана схема преобразования уровня логических сигналов между микроконтроллером и мультимедийной картой. Эта схема представлена на рис. 1.

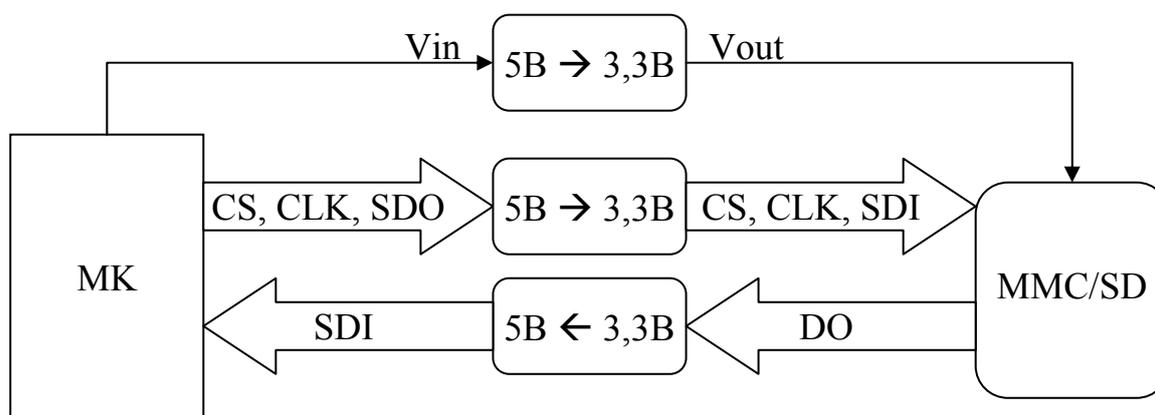


Рис. 1. Схема преобразования напряжения питания и уровня логических сигналов, направленных от микроконтроллера к мультимедийной карте и обратно

Разъем для мультимедийных карт и схема преобразования выполнены в виде отдельной платы и подключаются к экспериментальному стенду с помощью соединительного шлейфа. Схема состоит из преобразователя напряжения питания из 5 В в 3,3 В

и двух микросхем преобразования уровня напряжения логических сигналов. Первая микросхема конвертирует сигналы от микроконтроллера к мультимедийной карте (из 5 В в 3,3 В), вторая – в обратном направлении (из 3,3 В в 5 В).

## 2.3. Программное обеспечение

### 2.3.1. Структура программного обеспечения

Разработанное программное обеспечение имеет многоуровневую, модульную структуру. Каждый уровень строится на функциях предыдущего уровня и одновременно является фундаментом для следующего. Иерархия функциональных уровней представлена на рис. 2.

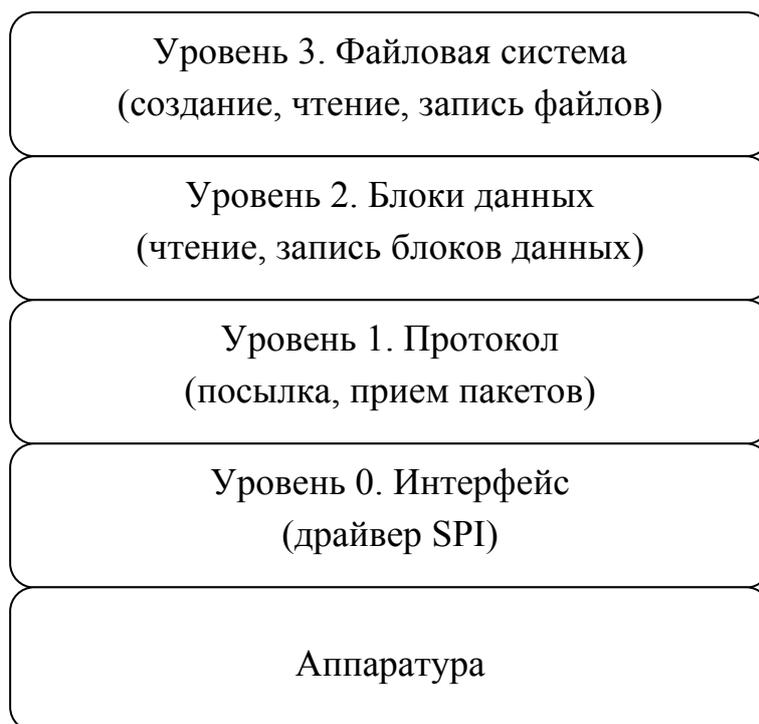


Рис. 2. Иерархия уровней разработанного программного обеспечения

Уровень 0. Интерфейс. Является полностью аппаратно-зависимым уровнем. Исполняет роль драйвера интерфейса и обращается непосредственно к регистрам микроконтроллера.

Уровень 1. Протокол. Содержит функции непосредственного взаимодействия с мультимедийной картой, такие как посылка команды, прием ответа карты, прием или передача данных.

Уровень 2. Блоки данных. Первый функционально завершённый уровень, который может использоваться для решения определенного ряда задач, не требующих работы с файловой системой. Содержит функции для работы с мультимедийной картой как с большим массивом памяти.

Уровень 3. Файловая система. Обеспечивает поддержку файловой системы FAT16, что дает возможность переносить данные из ВcС на персональный компьютер без использования специального программного обеспечения.

Одним из важнейших условий разработки данного комплекса функций была возможность их использования на различных аппаратных платформах. Описанная выше модульная структура предоставляет для этого широкие возможности. Для использования разработанных функций в аппаратуре с различными микроконтроллерами нужно

лишь заменить функции интерфейса (уровень 0) на аналогичные функции, работающие с новым микроконтроллером.

Кроме того, функции третьего уровня в принципе могут использоваться для работы с любым устройством хранения информации, поддерживающим файловую систему FAT16, при наличии функций работы с устройством, аналогичных блочным функциям второго уровня.

В связи с тем, что флэш-память состоит из множества секторов (область памяти, которая может быть перезаписана только целиком), процесс записи является наиболее медленным. Так, например, процесс записи одного байта заключается в считывании соответствующего сектора во временный буфер, изменении байта в этом буфере и записи измененного блока из буфера на карту. На уровне файловой системы процесс записи дополняется изменениями в таблице FAT и еще больше замедляется. Поэтому запись блока данных, равного размеру сектора (512 байт), по адресу, выровненному на границу сектора, выполняется быстрее, чем запись одного байта.

### **2.3.2. Надежность хранения данных**

Основной проблемой, особенно актуальной применительно к ВСС, является обеспечение надежности хранения информации при сбоях питания или аппаратуры. Конечно, несохраненная информация, находящаяся в энергозависимой памяти, при сбое питания будет потеряна (для ее сохранения требуются дополнительные аппаратные средства – резервный источник питания). На программном уровне можно лишь предотвратить повреждение (изменение) уже записанных данных. Это можно сделать как на втором, так и на третьем функциональных уровнях.

Обеспечение надежности на втором уровне состоит в предварительном копировании модифицируемого сектора. И если во время записи произойдет сбой, то программа восстановит поврежденный сектор из сохраненной копии.

Метод обеспечения надежности на третьем уровне основывается на средствах, предоставляемых для этого файловой системой [1]. Файловая система FAT16 имеет две таблицы размещения файлов, поэтому внесение изменений в таблицы следует производить по очереди. В этом случае при сбое поврежденную таблицу можно восстановить из неповрежденной копии.

Следует отметить, что перечисленные методы обеспечения надежности сохранения информации существенно сокращают физическую долговечность мультимедийных карт, так как флэш-память имеет ограниченное количество циклов перезаписи.

Для продления срока службы флэш-карт можно использовать буферизацию данных при записи на карту, специальные алгоритмы, следящие за равномерностью записи данных по всему объему карты и т.д. Но все эти способы требуют достаточно больших объемов памяти и поэтому не всегда могут быть применимы во ВСС.

## **2.4. Технические характеристики**

### **2.4.1. Скоростные характеристики**

Приведенные ниже характеристики были получены на экспериментальном стенде (SDK-5.0R2 + плата для подключения мультимедийных карт). Работа с картой производилась по интерфейсу SPI на частоте 4 МГц (из возможных 20-25 МГц для MMC/SD карт). Рабочая частота микроконтроллера (PIC18F4585) – 16 МГц. В связи с тем, что используемый в эксперименте микроконтроллер обладает крайне небольшим количеством оперативной памяти, чтение и запись больших блоков данных производилась небольшими фрагментами. В результате были получены весьма скромные скорости чтения и записи данных.

Время чтения файла размером 1 Мб (фрагментами по 1 Кб) составило 109 секунд, т.е. скорость чтения равна 9,4 Кб/с. Время записи файла размером 1 Мб (фрагментами по 1 Кб) составило 160 секунд, то есть скорость записи равна 6,4 Кб/с.

#### 2.4.2. Ресурсоемкость

В таблице 2 приводятся примерные объемы памяти программ, необходимые для размещения функций для работы с мультимедийными картами. В этих измерениях не учитывается объем памяти, занимаемый аппаратнозависимой частью программы (драйвера аппаратуры) и системными библиотеками.

Микроконтроллеры семейства PIC18xxxx	10426 байт
Микроконтроллеры семейства AVR ATmega x	7928 байт
Микроконтроллеры семейства ARM7	5556 байт

Таблица 2. Объем памяти программ, занимаемый функциями для работы с мультимедийными картами

Следует отметить, что микроконтроллеры, обладающие большими ресурсами и потенциально предназначенные для решения более сложного класса задач с возможным использованием мультимедийных карт, в процентном соотношении тратят меньше ресурсов на организацию работы с картами памяти, чем микроконтроллеры с меньшими ресурсами.

#### Заключение

По результатам исследования рынка современных мультимедийных карт можно сделать вывод, что карты SD и MMC являются наиболее привлекательными мультимедийными картами для применения во встраиваемых системах.

Разработанный инструментальный комплекс (благодаря максимальной аппаратной независимости) может быть использован в различных встраиваемых системах, требующих применения мультимедийных карт.

Полученные технические характеристики показывают, что разработанный комплекс может успешно применяться в системах, не требующих больших скоростей обмена данными с картами памяти.

#### Литература

1. FAT: General Overview of On-Disk Format, version 1.03, Microsoft Corporation, 2000.
2. Memory Stick Standard Memory Stick Pro Specification Summary. Non-Licensee Version, 2004.
3. MultiMedia Card Product Manual, rev. 5.2, 2003.
4. SanDisk Secure Digital Card Product Manual, version 1.9, 2003.
5. SanDisk CompactFlash Memory Card Product Manual, version 10.9, 2005.
6. SmartMedia Card, I-O Data Device, 2003.
7. [http://www.ak-cent.ru/?parent\\_id=9842](http://www.ak-cent.ru/?parent_id=9842)
8. <http://www.itc.ua>
9. <http://www.ixbt.com>

# СОЗДАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ НА БАЗЕ ВИРТУАЛЬНОЙ МАШИНЫ С ДИНАМИЧЕСКИМ НАБОРОМ ИНСТРУКЦИЙ

Р.Р. Ковязин, Н.П. Постников

В работе рассматривается проблема проектирования микропроцессорных устройств управления объектами, физическими и технологическими процессами. Проведен анализ прикладных задач, предлагается архитектура локальных регуляторов на базе программно реализованной виртуальной машины. Для оценки эффективности реализаций предложенной архитектуры формулируются критерии оптимальности. Представлена архитектура виртуальной машины NL2 и ее внедрения, демонстрирующие эффективность решения задач логического управления.

## Локальные регуляторы

Локальные регуляторы и устройства логического управления широко используются для построения автоматизированных систем с обратной связью для управления объектами или промышленными процессами. Традиционно локальными регуляторами называются устройства, реализующие законы аналоговой ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциальной) регуляции. Также локальными регуляторами можно назвать устройства локального логического управления, взаимодействующие с объектом управления посредством дискретных сигналов ввода/вывода. На практике зачастую встречаются задачи смешанного управления, где объект управления требует как аналогового, так и логического управления, где целевая система содержит несколько разнотипных объектов управления. В данной статье под локальным регулятором будет пониматься устройство гибридного управления.

К современным локальным регуляторам предъявляются следующие требования:

- автономное микроконтроллерное устройство;
- возможность настройки целевого алгоритма управления;
- низкая стоимость конечного устройства;
- наличие функций самодиагностики;
- широкий диапазон условий эксплуатации.

Обычно локальные регуляторы создаются для типовых объектов управления, что позволяет говорить о фиксированном наборе интерфейсов сопряжения с объектом. Критичными для локальных регуляторов являются более строгие требования к климатическим и электромагнитным условиям эксплуатации при наличии ограничений на габариты и энергопотребление. Все сказанное позволяет утверждать, что локальные регуляторы являются ярким представителем встраиваемых систем, и при их проектировании необходимо решать весь комплекс проблем, характерный для проектирования встраиваемых систем.

Многие локальные регуляторы должны иметь интерфейс пользователя, позволяющий конфигурировать алгоритм, менять режимы работы и отображать текущее состояние объекта управления. Кроме того, эффективно решить собственно задачу управления объектом может только специалист-прикладник, поэтому разработчики локальных регуляторов должны предоставлять средства разработки прикладных алгоритмов, позволяющие в необходимых пределах изменять прикладной алгоритм силами специалиста-прикладника.

В данной статье для реализации прикладной функциональности локальных регуляторов рассматривается вариант с использованием виртуальной машины [1] и предлагается специализированная виртуальная машина с динамическим набором инструкций для решения задач гибридного управления. С учетом требования низкой стоимости и простоты конечного изделия зачастую у разработчика локальных регуляторов нет воз-

возможности использовать мощные высокопроизводительные микроконтроллеры, обладающие значительными вычислительными ресурсами. В большинстве случаев в качестве базового микроконтроллера устройства используются 8-битные контроллеры с объемами памяти, ограниченными единицами килобайтов. Это является важнейшим фактором при определении архитектуры виртуальной машины.

### Понятие виртуальной машины

На рис. 1 представлена структура виртуальной машины. Укрупненно микроконтроллер можно представить как совокупность ресурсов (память, порты ввода/вывода, система прерываний и т.д.) и множество функциональных примитивов (инструкций АЛУ), предназначенных для выполнения определенных операций над ресурсами.

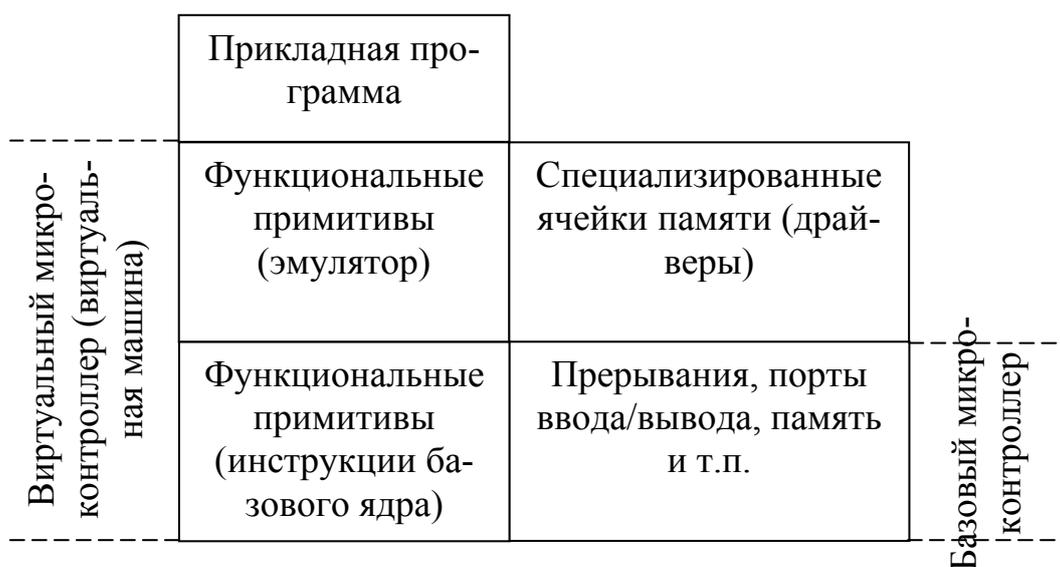


Рис. 1. Общая структура виртуальной машины

Реализация прикладных алгоритмов управления должна быть возможна для базовых микроконтроллеров различных типов, но функциональные примитивы и ресурсы каждого микроконтроллера характеризуют именно микроконтроллер, а не прикладную задачу. Поэтому необходима некоторая программная надстройка над базовым микроконтроллером, которая реализует функциональные примитивы и ресурсы, характерные для задачи.

На основе возможностей базового микроконтроллера реализуется библиотека драйверов интерфейсов сопряжения с объектом. Для преобразования функциональных примитивов создается эмулятор, являющийся вычислительным ядром полученного виртуального микроконтроллера. Прикладная программа активирует исполнение функциональных примитивов виртуальной машины, которые предоставляют доступ к ресурсам системы через библиотеку драйверов. Таким образом, создается виртуальный микроконтроллер на основе базового микроконтроллера. Обычно базовый микроконтроллер является аппаратным, а виртуальный микроконтроллер – программно-аппаратным.

Следует заметить, что библиотека драйверов реализует все необходимые интерфейсы сопряжения с объектами и сложные алгоритмы аналогового управления. В рассматриваемой архитектуре виртуальной машины специалисту-прикладнику недоступно создание новых интерфейсов сопряжения с объектами, а задачей прикладного уровня остается лишь реализация алгоритма управления объектами или процессами на уровне регистровых передач, с использованием специализированных ячеек памяти.

Основным недостатком виртуальных машин является наличие *run-time* эмулятора, что резко снижает производительность всей системы. Допустим, функциональный примитив виртуального микроконтроллера способен одновременно выполнять  $k$  элементарных действий прикладной программы, а его эмуляция требует использования  $n$  функциональных примитивов базового микроконтроллера. Тогда общая эффективность использования виртуальной машины  $\eta$  может быть вычислена по формуле.

$$\eta = k \cdot n^{-1}. \quad (1)$$

Чем выше показатель  $\eta$ , тем эффективнее решение конкретной прикладной задачи. Так как по определению  $n$  не может быть меньше 1, то максимальная общая эффективность использования виртуальной машины всегда не больше  $k$ . Теоретически максимум общей эффективности достигается при условии  $n = 1$ , каждой группе элементарных действий прикладной задачи соответствует один функциональный примитив виртуального микроконтроллера, совпадающий с функциональным примитивом базового микроконтроллера (эмулятор отсутствует). На практике из-за наличия дополнительных механизмов защиты, сложных прикладных структур данных и т.д. показатель  $n$  всегда много больше 1. К тому же обычно набор функциональных примитивов виртуального микроконтроллера является универсальным и не отображает особенности прикладной задачи, что делает параметр  $k = 1$ .

Для того чтобы минимизировать потерю эффективности, необходимо выбирать функциональные примитивы виртуального микроконтроллера, как можно более «адекватно» отображающие существо конкретной задачи управления (увеличивать характеристику  $k$ ). Также необходимо добиваться эффективности реализации *run-time* эмулятора (уменьшать характеристику  $n$ ). Приведенные рассуждения позволяют сформулировать критерии оптимальности виртуальной машины:

- 1) компактность представления прикладной задачи;
- 2) время исполнения функциональных примитивов виртуальной машины;
- 3) количество функциональных примитивов виртуальной машины.

Первый критерий компактности характеризует, насколько адекватно функциональные примитивы виртуального микроконтроллера отражают элементарные действия прикладной задачи. Компактное представление конкретной прикладной задачи позволяет значительно увеличить характеристику  $k$ . Время исполнения функциональных примитивов виртуальной машины напрямую зависит от количества инструкций базового вычислителя, использованных для реализации исходного примитива, что связано с характеристикой  $n$ . Меньшее количество функциональных примитивов виртуальной машины позволяет упростить реализацию эмулятора и сэкономить ресурсы базового микроконтроллера.

## Виртуальная машина NL2

Проектирование эффективной виртуальной машины необходимо начинать с анализа типовых прикладных задач. Типовые задачи локальных регуляторов состоят из следующих элементарных действий:

- вычисление логических термов;
- регистровые передачи;
- вычисление арифметических выражений;
- проверка условий.

При этом сам процесс вычислений носит циклический характер или активизируется по некоторым событиям. Ввиду отсутствия в прикладных алгоритмах сложных структурных операторов предлагается управляющую процедуру разбить на линейные фрагменты, исполняемые последовательно. Линейный фрагмент программы, закодиро-

ванный в последовательность примитивов виртуальной машины, назовем *нетлистом*. Вся прикладная программа в таком случае представится в виде набора нетлистов, между которыми передается управление. Аналогичным образом в множество нетлистов может быть переведен алгоритм, выраженный в автоматной форме.

Для реализации элементарных действий, перечисленных выше, с учетом критериев эффективности была разработана специализированная виртуальная машина NL2. Виртуальная машина NL2 – это регистровая машина гарвардского типа. Вычислительное ядро NL2 поддерживает одну инструкцию с конфигурируемым микрокодом. Микрокод определяет типы операндов и систему логических функций. При выполнении инструкции может быть использовано до 4 входных и 4 выходных операндов. NL2 предоставляет доступ к двум адресным пространствам данных. Через пространство памяти доступны специализированные ячейки памяти, в том числе и интерфейсы сопряжения с объектом. Регистры предназначены для хранения временных результатов и обеспечивают более высокое быстродействие машины за счет более высокой скорости доступа. Виртуальная машина NL2 является масштабируемой на этапе реализации и характеризуется четверкой параметров *NARC*, называемой *профилем*. Профиль определяет рядность машины *N* (размер ячеек памяти и регистров), размеры адресных пространств памяти (*A*) и регистров (*R*), а также ширину представления короткой константы (*C*).

На рис. 2 представлен упрощенный формат микрокода. Данные микрокода занимают 12 байт. Конфигурация ядра содержит количество активных входов и выходов и режимы работы ядра виртуальной машины NL2. Типы операндов задаются в конфигурации входов и выходов. Они определяют адресное пространство для загрузки и сохранения операндов. Система логических функций, задающая действия микрокода, позволяет определять традиционные логические операции (AND, NOT, XOR и др.), арифметические операции («+», «-»), операции пересылки данных (MOV, SWAP, XCHG и др.), логические признаки («больше», «равно», «меньше или равно» и др.), мультиплексирование, любую логическую функцию 4-х входов. Уникальность микрокода определяется именно логической функцией, остальные параметры микрокода могут быть изменены в режиме исполнения за счет указания префикса инструкции (*параметризация микрокода*). Параметризация микрокода дает возможность использовать один и тот же микрокод при изменении режима выборки или сохранения операндов, что позволяет значительно уменьшить количество микрокодов в прикладной задаче.

0..15	Конфигурация АЛУ	0
16..31	Конфигурация входов ( $K_{\text{входов}}$ )	$K_{\text{выходов}}$
32..47	Логическая функция	
48..63		
64..79		
80..95		

Рис. 2. Формат микрокода инструкции виртуальной машины NL2

На рис. 3 показана структура ядра виртуальной машины NL2. Видно, что для интерпретации микрокода инструкции ядро получает до 4 входных операндов. Все они поступают на входы 4 логических функций, каждая из которых формирует один выходной результат. Таким образом, формируются 4 выходных операнда. Для выполне-

ния логических и арифметических операций ядро виртуальной машины содержит блок предварительной обработки и блок обратной связи. Все логические функции применяются последовательно ко всем битам входных операндов, поэтому сложность реализации виртуальной машины не зависит от размера машинного слова  $N$ . Алгоритм работы АЛУ NL2 представлен несложным выражением.

```

for ( $n = 0; n < N; ++N$ )
{
    int  $p = 0$ ;
    for ( $i = 0; i < 4; ++i$ )  $p|_i = IN^i|_n$ ;
    for ( $i = 0; i < 4; ++i$ )  $OUT^i|_n = \mu\text{CODE.table}^p|_i$ ;
}

```

(2)

В (2)  $N$  – это разрядность машины,  $IN$  – входные данные,  $OUT$  – выходные данные, а  $table$  – система логических функций микрокода  $\mu\text{CODE}$ . Из (2) видно, что для любой системы логических функций микрокода инструкция будет исполняться одинаковое время.



Рис. 3. Структура ядра виртуальной машины NL2.

Если вернуться к критериям эффективности виртуальной машины, то можно заметить, что в связи с использованием всего одного функционального примитива виртуального микроконтроллера характеристика  $n$  определяется только эффективностью реализации выражения (2) в каждом конкретном случае. Возможность использования до 4 пар операндов в одной инструкции и реализация уникальных систем логических функций позволяют сделать характеристику  $k$  значительно больше 1. Еще больше по-

вышает эффективность виртуальной машины возможность выбора специфических микрокодов для конкретной задачи.

### Прикладное программное обеспечение

Для создания прикладной программы необходимо выполнить 2 этапа (рис. 4). На первом этапе требуется анализ задачи и создание оптимального набора библиотеки микрокодов. Анализ задачи заключается в выделении в прикладном алгоритме логических таблиц и часто используемых последовательностей элементарных действий. Удачный выбор микрокодов является залогом удовлетворения критерия компактности представления прикладной задачи (повышение показателя  $k$ ). На втором этапе нужно с использованием микрокодов закодировать прикладной алгоритм. Это можно сделать в рамках инструментальных средств, предоставляющих возможность программирования на уровне ассемблера или с использованием языков высокого уровня. Важно понимать, что для каждого конкретного случая ассемблер уникален, и, следовательно, изучение набора инструкций конкретной задачи не имеет смысла. В результате прикладное программное обеспечение состоит из библиотеки микрокодов инструкций и списка нетлистов.

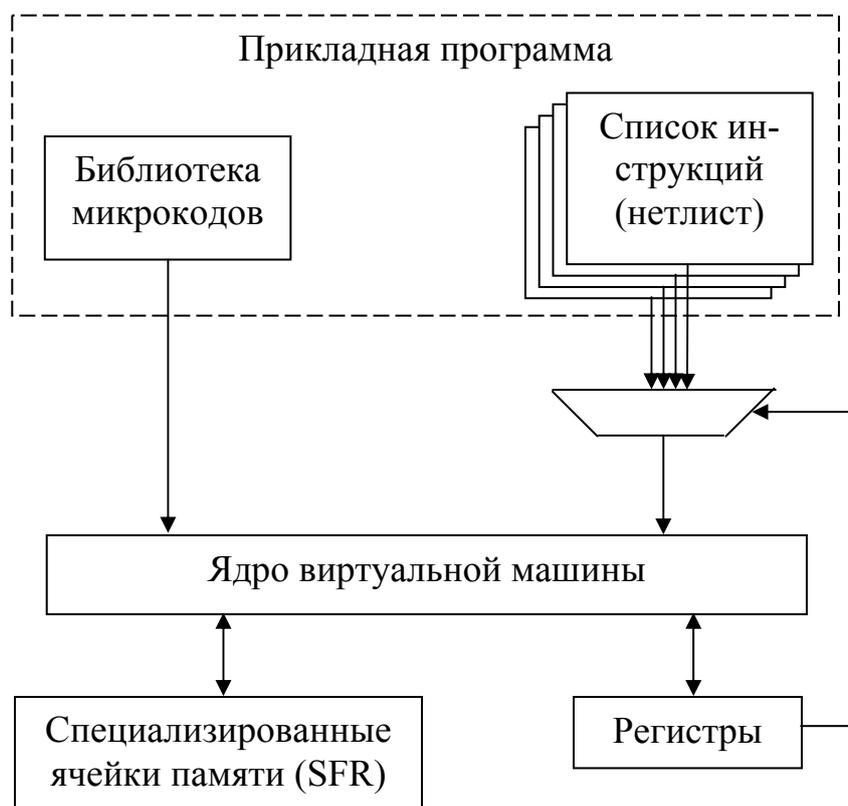


Рис. 4. Прикладное программное обеспечение для виртуальной машины NL2

### Внедрения

Описанная виртуальная машина NL2 была внедрена в проектах трех различных локальных регуляторов [2, 3]. Ее характеристики перечислены в таблице 1. В соответствии с профилем ВМ является 8-битной машиной, поддерживающей 256 ячеек памяти, 16 регистров и 4-битные короткие константы. Согласно предложенной ранее архитектуре, данные всех драйверов представлены в адресном пространстве памяти. В целом во всех локальных регуляторах были реализованы драйверы релейных выходов, ЦАП,

АЦП, кнопок, светодиодных индикаторов, интерфейса uLan, часов реального времени, дискретных входов/выходов и др.

Базовый микроконтроллер	PIC18 (8-бит, RISC, 16МГц)
Профиль NL2	NARC = { 8, 8, 4, 4 }
Макс. количество уникальных микрокодов	64
Макс. количество нетлистов	256
Занятый объем памяти кода базового микроконтроллера	1 Кбайт (500 строк С-кода)
Занятый объем памяти данных базового микроконтроллера	40 байт
Время исполнения инструкции	500мкс
Инструментальные средства	дизайнер микрокодов, ассемблер, встроенный загрузчик

Таблица 1. Параметры реализации виртуальной машины NL2.

Внедрения и характеристики их прикладных программ перечислены в списке.

- Малая система кондиционирования:  
11 нетлистов, 47 инструкций/нетлист, 14 микрокодов.
- Таймер программируемый:  
13 нетлистов, 45 инструкций/нетлист, 14 микрокодов.
- Система «интеллектуальный дом»:  
7 нетлистов, 15 инструкций/нетлист, 15 микрокодов.

Малая система кондиционирования предназначена для обеспечения климата в кабине машиниста железнодорожного состава. Система учитывает температуру внутри и снаружи кабины, температурные уставки. При управлении силовыми агрегатами для выполнения задач кондиционирования учитываются ограничения на скорость их включения/выключения. Система имеет интерфейс пользователя, позволяет менять температурные уставки, индицирует состояния силовых агрегатов и режим работы.

Таймер программируемый предназначен для локального управления наружным осветительным оборудованием. Один такой контроллер способен управлять освещением по двум фазам. Система хранит расписание включения и выключения освещения с точностью 1 минута на целый год. Интерфейс пользователя позволяет управлять освещением в ручном режиме, вводить новое время и дату. Система обеспечивает корректный переход на летнее и зимнее время. Система предназначена для функционирования круглый год в уличных климатических условиях. В ней реализованы механизмы повышения ее надежности и разносторонняя диагностика ее механизмов.

Перечисленные выше системы выпускаются серийно. Система «интеллектуальный дом» существует в прототипе для локального использования. Она обеспечивает доступ к помещению, используя ключи iButton и электронный замок. В системе хранится база ключей и уровней их доступа. Новые ключи могут быть добавлены и удалены из базы во время работы с помощью интерфейса пользователя без использования дополнительных средств. Управление звонком тоже входит в функции системы.

## Развитие NL2

Идея создания уникальных для каждой задачи наборов инструкций позволяет резко повысить эффективность виртуальной машины за счет компактного представления прикладной задачи. Существующие в настоящее время инструментальные средства для создания эффективных алгоритмов требуют от разработчика серьезных знаний булевой алгебры и дискретной математики. Эти знания необходимы на этапе анализа приклад-

ной задачи и создания эффективного набора микрокодов (понимание архитектуры вычислительного ядра NL2, кодирование систем логических функций, функциональная декомпозиция сложных функций, оптимизация по типам операндов и т.д.). Использование же некоего «универсального» набора микрокодов резко ухудшит характеристики получаемых систем.

Положение усугубляется отсутствием компиляторов языков высокого уровня и неразвитыми средствами отладки. Все это требует специалиста с высокой квалификацией в области вычислительной техники, хотя технология создания локальных регуляторов на базе виртуальной машины NL2 ориентирована на прикладного специалиста.

Первостепенными задачами развития NL2 видится создание более серьезных средств отладки, создание компиляторов ЯВУ (структурные языки, автоматное представление и др.) и исследование способов получения оптимальных наборов микрокодов с последующей генерацией на их базе кода прикладной задачи. Критериями оптимизации для средств автоматического синтеза могут выступать объем результирующего кода, количество уникальных микрокодов, скорость исполнения прикладной программы и т.д.

Перечисленные проблемы вызваны не недостатками архитектуры виртуальной машины NL2, а несовершенством инструментальной поддержки. Решение поставленных задач позволит избавиться от указанных проблем, и прикладной специалист получит мощный и легко осваиваемый инструмент для создания локальных регуляторов устройств гибридного управления.

### Литература

1. Ковязин Р.Р., Платунов А.Е. Программирование микроконтроллерных систем. // Электронные компоненты. 2003. № 4, С. 65–70.
2. Ковязин Р.Р. Программируемые микроконтроллерные системы. / Политехнический симпозиум «Молодые ученые — промышленности Северо-Западного региона». Тезисы докладов. СПб: СПбГПУ, 2003. С. 10.
3. Ковязин Р.Р., Платунов А.Е. Приборные контроллеры. // Приборостроение и средства автоматизации. 2005. №1. С. 50–52.

# КОНВЕЙЕРНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

В.И. Скорубский, Ф.В. Хмылко

Рассмотрена задача размещения программы приема информации для синхронных авиационных интерфейсов по тактам. Ассемблерная программа преобразуется в конечный автомат и с применением алгебры регулярных выражений приводится к совмещенному синхронному исполнению. При вводе потока данных параллельное совмещение со сдвигом на такт на общем оборудовании реализует конвейерное исполнение автомата.

## Введение

В микропроцессорных системах реального времени процессы жестко регламентированы во времени. В ряде случаев реальное время задается внешней синхронизацией, которая определяет структуру программ. Для анализа и разработки таких программ могут быть использованы синхронные модели конечных автоматов (КА). Подобная задача решалась в медицинском приборе «Спектр», разработанном на кафедре КЭиБМО СПбГУ ИТМО, в котором формируется сигнал светового воздействия определенной частоты с точностью, определяемой кварцевым генератором и ШИМ-формирователем. Частота при этом является основным контролируемым параметром, но при этом необходимо также выполнить ряд действий в программе управления и контроля.

В промышленных контроллерах необходима синхронизация программы по тактам, которая включает ввод значений с датчиков, формирование управляющих воздействий и вывод их на исполнительные устройства. Жесткие ограничения по времени характерны для синхронных интерфейсов, используемых для связи измерительных и исполнительных контроллеров с центральной ЭВМ.

В общем случае состояния КА имеют разную длительность, должны быть согласованы и приведены к синхротактам совмещением последовательно выполняемых команд. В дальнейшем рассматривается задача синхронизации алгоритма приема данных в синхронных интерфейсах MIL и Aginc 429. Передача данных может быть реализована практически на основе тех же алгоритмов с упрощениями, так как не требуется идентификация признаков и формирование бита четности. Полученные программы на общем оборудовании могут быть исполнены в конвейерном режиме

## Последовательное совмещенное исполнение протокола MIL

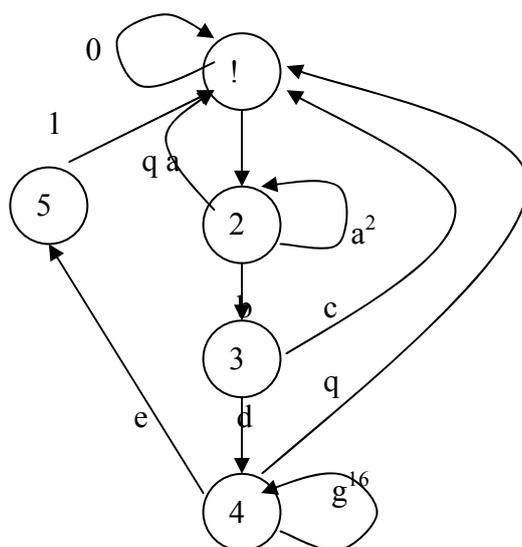


Рис.1 Граф КА алгоритма приема данных по интерфейсу MIL

20-разрядный синхронный протокол MIL включает 3-битовую преамбулу – код, различающий команды и данные, 16-битовый двоичный код, бит четности. Для передачи используется манчестерский код, частота передачи данных 1 МГц.

Программа приема данных по интерфейсу MIL в виде графа КА приведена на рис.

1. Состояния КА обозначают следующие операции, обеспечивающие ввод слова данных по интерфейсу MIL:

1. начальная установка;
2. чтение трех битов признака данных или команды;
3. контроль принятого кода признака;
4. чтение 16 информационных битов;
5. сохранение принятого слова.

Сигналы выбора переходов в автомате обозначены символами входного алфавита  $\Sigma = \{0,1,a,b,c,d,e,g,q\}$ , где  $1 \in \Sigma$  обозначает любой сигнал из алфавита, а 0 – ожидание синхросигнала.

КА определяет алгоритм, распознающий регулярное выражение [1]. Регулярное выражение для КА, представленного на рис. 1, может быть получено методом сокращения состояний и имеет вид

$$L = (0^*((aa^*q)^*aa^*bc)^*aa^*bdg^*(e1+q))^* \quad (1)$$

Символы, обозначающие условия перехода, могут быть сопоставлены с выполнением операций в состояниях и, следовательно, также могут рассматриваться как развернутые во времени последовательно выполняемые операции или состояния:

- a – счетчик битов признака, чтение бита;
- b – завершение счета, чтение бита;
- c – ошибка при чтении признака;
- d – признак команды или данных обнаружен;
- g – счетчик битов, чтение бита;
- q – ошибка приема битов данных, обычно задержка более 1 мкс;
- e – слово данных прочитано, чтение бита четности.

Преобразования подчиняются законам алгебры регулярных выражений. Некоторые из них [1] применяются в дальнейших преобразованиях.

1. Законы коммутативности и ассоциативности для операции (+), символы a,b,c обозначают любые регулярные выражения

$$a + b = b + a, \quad a + b + c = (a + b) + c = a + (b + c). \quad (2)$$

2. Закон дистрибутивности для операции конкатенации (умножения)

$$(b+c)a = ab + ac, \quad (b+c)a = ba + ca. \quad (3)$$

3. Законы тождественных преобразований степенных (итерационных \*) выражений

$$\begin{aligned} (a+b)^* &= (a^* + b^*)^* = (a^*b^*)^* = (a^*b)^*a^*, \\ a^* &= a^*a^* = (a^*)^* = (a + a^2 + \dots + a^k)^*, \\ (a^*b)^* &= (a + b)^*b^*. \end{aligned} \quad (4)$$

Регулярные выражения допускают формальные алгебраические преобразования, эквивалентные структурным преобразованиям программы. В дальнейшем при анализе на совмещение необходимо учитывать реальные ограничения на число повторений циклов, и некоторые циклы преобразуются в нерегулярные:

$$(a+b)^N = ((a+b)^m(a+b)^n)^k, \text{ если } (m+n)k = N. \quad (5)$$

Кроме того, команда условного перехода с контролем условия q (если временная задержка больше одной мкс) повторяется в цикле, сохраняются только непустые циклы (\*≠0), так как для расчета совмещения необходима программа максимальной длины.

Промежуточное уточнение регулярного выражения имеет вид

$$L = (0^*((aq)^*bc)^*bd(gq)^*e1)^*. \quad (6)$$

С учетом ограниченных циклов получим следующее выражение, описывающее структуру программы в аналитической форме:

$$L=(0*((aq)^3bc)*bd(gq)^{16})*e1)*. \quad (7)$$

Символическое определение структуры программы и алгебраические преобразования позволяют выполнить верификацию корректного завершения программы. Структура программы может быть алгебраическими преобразованиями оптимизирована с учетом конкретных требований. Все циклы с обнаружением ошибок можно исключить, так как они перекрываются максимальными циклами. Окончательное выражение включает 41 команду, которые требуется реализовать за 20 тактов

$$L=0*(aq)^3bc(gq)^{16}1. \quad (8)$$

Выполним последовательное совмещение операторов с учетом ограничения на длительность такта КА.

Совмещенные в такте КА команды могут занимать меньше 20 машинных тактов. В этом случае такт КА дополняется однотоковыми задержками – командами NOP:

- $A^2=0*(aq)^2$  занимает 2 такта КА, в каждом из них занято по 10 машинных тактов;
- $B = aqbc$  занимает 12 машинных тактов в одном такте КА;
- $C^{16} = (gq)^{16}$  занимает 16 тактов КА;
- $G = 1$  – задержка, которая занимает 16 машинных тактов и один такт КА.

Символическая программа после этих преобразований имеет вид рис. 2.

$$(0*((A^2B)*C^{16})*G)*. \quad (9)$$

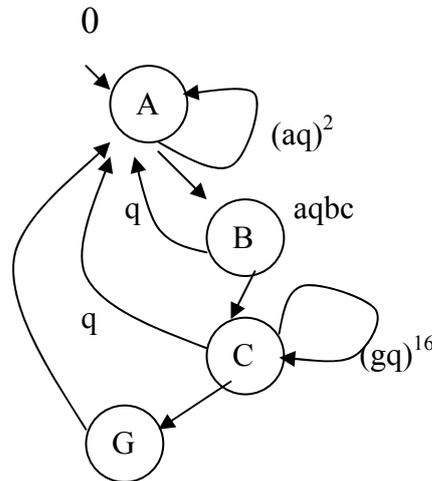


Рис. 2. Граф КА для программы приема MIL с совмещением команд

Совмещение команд в тактах КА выполняется по формальным правилам на основе алгебраических выражений, что существенно проще работы с графами или со всей программой и со всеми командами.

### Последовательное совмещенное исполнение протокола Aginc

Протокол интерфейса Aginc 429 (32-битовое слово: 1 бит четности, 2 бит – матрица, 21 бит – поле данных со знаком, 8 бит – адрес; два последовательных слова разделяются интервалом  $4T$ , где  $T$  – период синхротакта с частотой передачи данных 25, 50, 100 кГц) определяет алгоритм приема данных по каналу, который можно представить в виде КА (рис. 3). Состояния КА: 1) начальная установка, 2) цикл чтение битов адреса, 3) сохранение адреса, 4) чтение 23 битов данных и матрицы, 5) сохранение данных, 6) контроль бита четности, 7) пауза  $4T$ , 8) выход со сбросом, 9) выход с восстановлением.

Опускаем промежуточное регулярное выражение, которое формируется так же, как в предыдущем случае. Выражение при условии, что все циклы выполнены без ошибки, что соответствует максимальному пути при исполнении программы, имеет вид

$$(0*(sc)^8a((sc)^8d)^3zt(e+f)1)*. \quad (10)$$

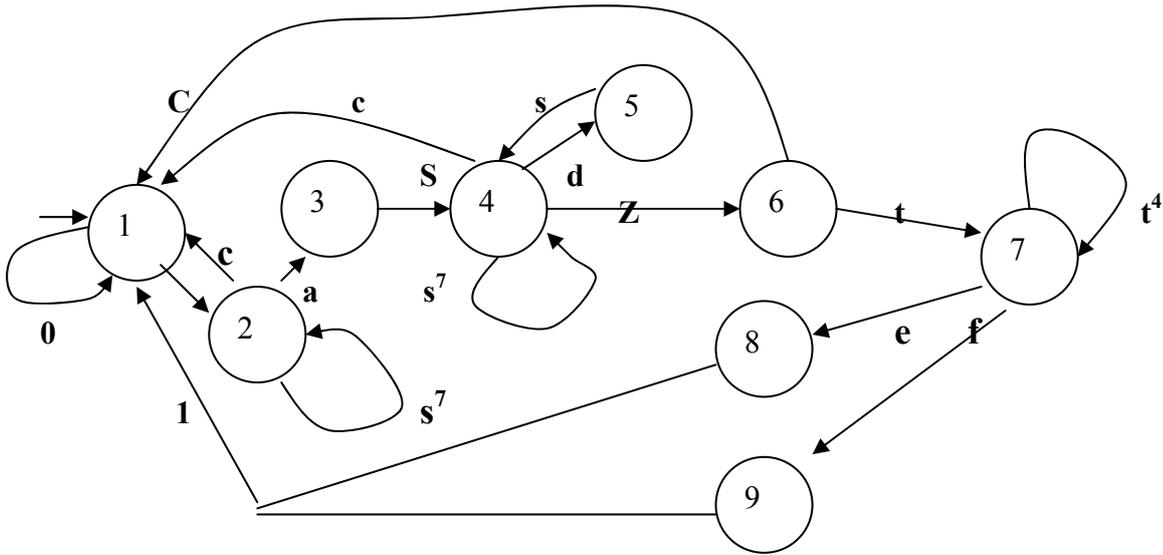


Рис. 3. КА для алгоритма приема данных интерфейса Arinc

Совмещенное исполнение с учетом ограничения на число тактов может быть представлено в форме

$$0^*A^7BA^7CA^7CA^7DE, \quad (11)$$

где  $A^7=0^*(sc)^7$ ,  $B=sca$ ,  $C=scd$ ,  $D=scdz$ , состояние  $E=t(e+f)1$  укладывается в 4T интервал. Необходимое число тактов КА  $32+4$ . При частоте 100 кГц все состояния укладываются в 200 машинных тактов для микроконтроллера с частотой 20 мГц. На рис. 4 приведен граф КА, полученный после совмещения команд программы протокола Arinc.

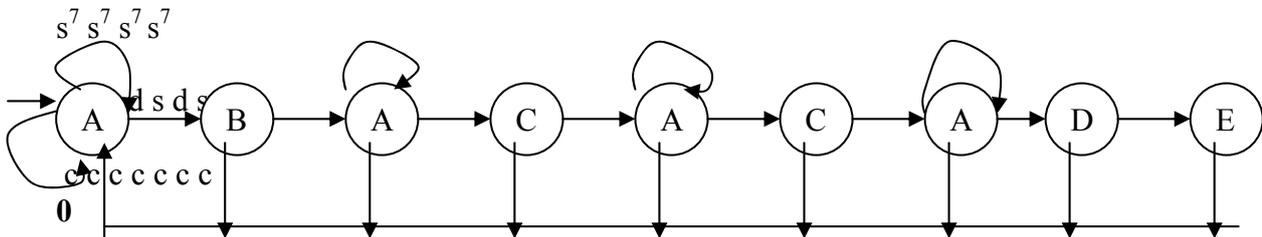


Рис.4. Граф КА для программы приема Arinc с совмещением команд

### Параллельное конвейерное исполнение КА

Конвейерная параллельная обработка данных предполагает наличие потока однотипных данных, преобразуемых последовательно в течение жестких тактов со сдвигом. Таким образом, в задаче последовательно-параллельной обработки объединяются две задачи – последовательное конвейерное исполнение и параллельное совмещение со сдвигом.

Последовательно-параллельное выполнение со сдвигом может быть промоделировано теми же средствами, что и при последовательном исполнении. На входе системы могут быть несколько последовательных потоков данных, обрабатываемых также последовательно с совмещением и сдвигом на один такт одним конвейером. Алгоритм преобразуется для выполнения по тактам с совмещением. При аппаратной реализации используется одна ПЛИС. Для программной реализации используется конвейер из последовательно включенных микроконтроллеров.

На входе системы может быть один поток многоуровневых данных, сдвинутых на такт и обрабатываемых конвейером, реализованном в ПЛИС или в мультимашинной системе.

### **Заключение**

Рассмотрена задача размещения программы, представленной КА, по тактам, которая приводится к совмещенному синхронному исполнению. Применяется алгебра регулярных выражений, которая позволяет формализовать преобразования и анализ структуры программы.

Методика может быть использована при разработке программ для встроенных микропроцессорных систем и промышленных контроллеров, работающих в реальном времени с жесткой синхронизацией, определяемой внешним тактированием.

Естественным расширением приложения методики является проектирование конвейера для параллельного исполнения КА.

### **Литература**

1. Хопкрофт Дж, Мотвани Р, Ульман Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. М., СПб, Киев, 2002

# ЯЗЫК ОПИСАНИЯ ВИЗУАЛИЗАТОРОВ АЛГОРИТМОВ

Г.А. Корнеев, А.А. Шалыто

В статье предлагается язык описания логики визуализаторов алгоритмов, основанный на XML. Этот язык позволяет автоматизировать процесс построения логики визуализаторов алгоритмов дискретной математики.

## Введение

Визуализаторы алгоритмов широко применяются для обучения дискретной математике и доказали свою эффективность [1, 2]. При этом часто используются визуализаторы, создаваемые студентами [3].

Основной проблемой при разработке визуализаторов алгоритмов является обеспечение возможности просматривать алгоритм не только в прямом, но и в обратном направлениях [4]. При этом много ошибок допускается именно при реализации «обратного хода». Таким образом, автоматизация создания логики визуализаторов алгоритмов, обеспечивающей трассировку алгоритма как в прямом, так и в обратном направлении, весьма полезна.

В настоящей работе предлагается язык описания логики визуализаторов алгоритмов на основе расширяемого языка разметки *XML (Extensible Markup Language [5])*. Применение этого языка позволяет автоматизировать разработку логики визуализаторов алгоритмов, что реализовано в проекте *Vizi [6]*.

## Концепции языка

В рамках предлагаемого языка алгоритм рассматривается как набор процедур и глобальных переменных. Среди процедур выделяется главная процедура, запускаемая при выполнении алгоритма.

Процедура рассматривается как последовательность операторов следующих типов:

- оператор присваивания;
- оператор ветвления;
- оператор цикла с предусловием;
- оператор вызова процедуры;
- блочный оператор.

Каждому типу оператора, кроме блочного, соответствует XML-элемент. Блочные операторы кодируются неявно.

Отметим, что операторы вызова процедуры позволяют задавать рекурсивные алгоритмы как с явной, так и с косвенной рекурсией. Оба этих случая обрабатываются корректно.

Операторы могут использовать как глобальные переменные, определенные на уровне алгоритма, так и локальные переменные, определенные в рамках процедуры.

Для шага может быть указан его уровень, шаблон комментария и связь с визуальным представлением.

Уровень шага определяет, в каком случае визуализатор останавливается при исполнении данного шага. Уровень задается целым числом. При этом значение -1 обозначает пропуск шага, 0 – остановку при просмотре алгоритма маленькими шагами, 1 – остановку при просмотре алгоритма большими шагами.

Шаблон комментария определяет вид и параметры комментария, отображаемого на данном шаге.

Связь с визуальным представлением позволяет обновлять визуальное представление при отображении шага.

На рис. 1 приведена диаграмма XML-элементов, применяемых при описании логики визуализаторов. Диаграмма основана на диаграмме классов *UML* [7]. При этом классы соответствуют XML-элементам, а их атрибуты – атрибутам элементов. Атрибуты, имеющие стереотип «text», соответствует вложенному тексту элемента.

Абстрактные элементы введены для отображения общности элементов. При этом конкретные XML-элементы им не соответствуют.

### Описание алгоритма

Как следует из рисунка, описание алгоритма задается элементом `algorithm`, содержащим описания процедур (элемент `auto`), глобальных переменных (элемент `variable`), а также вспомогательных конструкций (элементы `import`, `toString` и `method`).

Описание процедур будет рассмотрено ниже.

**Описание глобальных переменных.** Для каждой глобальной переменной указывается ее описание (атрибут `description`), имя (`name`), тип (`type`) и значение по умолчанию (`value`).

Описание переменной применяется при отладке алгоритма и не используется при генерации логики визуализатора [6].

Имена переменных должны быть корректными *Java*-идентификаторами и не содержать символов подчеркивания.

Значение по умолчанию применяется при автоматизированной проверке корректности построения логики визуализатора [6].

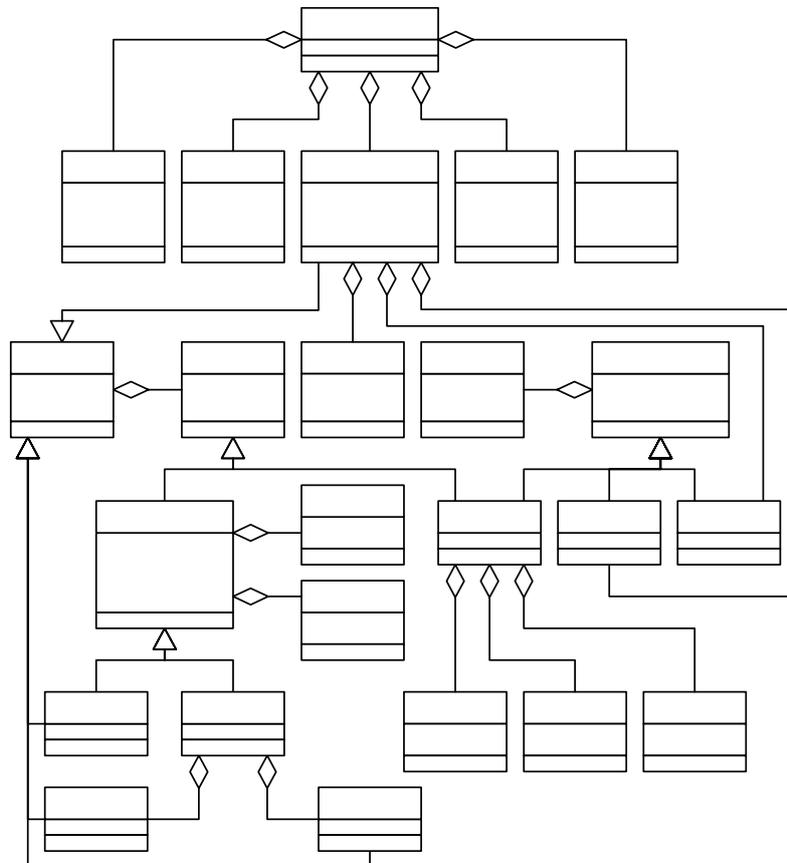


Рис. Диаграмма элементов

**Описание вспомогательных конструкций.** Элемент `import` позволяет описывать связь визуализатора с другими типами аналогично конструкции `import` языка *Java* [8]. Имя импортируемого класса (пакета) задается обычным образом и записывается внутри элемента `import`.

Элемент `toString` задает метод, представляющий значения основных переменных визуализатора в виде строки. Этот метод используется при автоматизированной проверке корректности построения логики визуализатора [6]. При этом значения, выдаваемые этим методом при прямом и обратном проходах, сравниваются, и при их неравенстве выдается сообщение об ошибке.

Элемент `method` позволяет задавать невизуализируемые методы, которые могут, например, применяться для построения визуального представления.

Для метода указывается сигнатура метода (атрибут `header`), комментарий (`comment`) и тело метода (текст элемента). Сигнатура и тело метода записываются также как в языке *Java*.

## Описание процедур

Описание процедуры задается элементом `auto`. При этом указываются имя (атрибут `name`) и описание (`description`).

В рамках процедуры описываются локальные переменные, начальное и конечное состояния, а также шаги алгоритма.

**Описание локальных переменных.** Локальные переменные описываются элементом `auto`. Для каждой локальной переменной указываются ее описание (атрибут `description`), имя (`name`) и тип (`type`).

Отметим, что для локальных переменных значения по умолчанию не указываются. Таким образом, исходное значение локальной переменной не определено.

**Описание начального и конечного состояний.** Описание начального (элемент `start`) и конечного (элемент `finish`) состояний позволяет задать комментарий и визуальное представление, отображаемые пользователю при входе и выходе из процедуры. Они обычно применяются в главной процедуре алгоритма.

Комментарий задается шаблоном комментария (атрибут `comment`) и параметрами комментария (`comment-args`).

Шаблон комментария содержит ссылки на параметры, записываемые в виде  
{номер аргумента}

Параметры комментария перечисляются через запятую. Каждый параметр представляет собой выражение, вычисляемое в момент отображения комментария. Таким образом, комментарии могут включать в себя значения переменных алгоритма.

Связь с визуальным представлением указывается во вложенном элементе `draw`, содержащем код, исполняемый при отображении визуального представления пользователю. Таким образом, визуальное представление может зависеть не только от текущего состояния, но и от значений переменных.

## Описание операторов

С точки зрения удобства визуализации операторы (абстрактный элемент `statement` на рисунке) разделены следующим образом:

- неотображаемые операторы;
  - оператор вызова процедуры;
  - блочный оператор (абстрактный элемент `block` на рисунке).
- отображаемые операторы:
  - оператор присваивания;

- условные операторы (абстрактный элемент `condition` на рисунке);
- оператор ветвления;
- оператор цикла с предусловием.

**Оператор вызова процедуры.** Оператор вызова процедуры описывается элементом `call-auto`. При этом указывается имя вызываемой процедуры (атрибут `id`).

**Блочный оператор.** Предлагаемый язык не содержит выделенной конструкции для описания блочных операторов. Вместо этого тело процедуры, цикла с предусловием и ветвей оператора ветвления являются блочными операторами.

**Отображаемые операторы.** Для отображаемых операторов указываются идентификаторы (атрибут `id`), описание (`description`) и уровень оператора (`level`), указывающий остановится ли визуализатор на данном операторе.

Значение уровня по умолчанию равно нулю.

**Оператор присваивания.** В операторе присваивания могут быть изменены значения одной или нескольких переменных.

Для трассировки в обратном направлении требуется осуществить обращение операторов – построить код, исполняемый при обратном проходе [4].

Оператор присваивания может обращаться либо автоматически, либо вручную. Ручное обращение иногда позволяет сэкономить память и/или время по сравнению с автоматическим выполнением этой операции [4].

При автоматическом обращении выполняемые действия записываются в элементе `action`. При этом для изменения переменных применяются операторы обратимого присваивания, имеющие вид `@=`. При обратном проходе все изменения, выполненные операторами обратимого присваивания, автоматически «откатываются» [4].

В случае ручного обращения отдельно указываются действия, выполняемые при прямом (элемент `direct`) и обратном (элемент `reverse`) проходах. В этом случае проверка верности обращения может быть автоматизирована [6].

В случае отображения пользователю для оператора присваивания указываются комментарий и связь с визуальным представлением, как это было указано выше для начального и конечного состояний.

**Условные операторы.** Для условного оператора указывается условие (атрибут `test`), позволяющее выбрать следующий оператор при прямом проходе.

Выбор следующего оператора при обратном проходе может осуществляться как автоматически, так и вручную. Во втором случае соответствующее условие указывается в атрибуте `rtest`.

Для условных операторов также указываются комментарии и связь с визуальным представлением. При этом шаблоны комментариев и действия по обновлению визуального представления указываются отдельно для истинного (атрибут `comment-true` и элемент `draw-true`) и ложного (`comment-false`, `draw-false`) значений условия.

**Оператор ветвления** задается элементом `if`, в который вложены описания ветвей, исполняемых при истинности (элемент `then`) и ложности (`else`) условия. Для каждой ветви указывается набор операторов, составляющих эту ветвь.

Отметим, что в случае укороченного оператора ветвления ветвь `else` опускается.

**Оператор цикла с предусловием** задается элементом `while`, в который вложены описания операторов, составляющих тело цикла.

## Переменные

При записи описания логики визуализатора переменные делятся на глобальные и локальные. Глобальные переменные доступны во всех процедурах, а локальные – только в той процедуре, в которой они объявлены.

Для доступа к переменным используется @-нотация. При этом настоящее имя переменной не используется в явном виде, а подставляется автоматически.

Доступ к переменной осуществляется при помощи выражения вида

@<имя переменной>

Например, оператор

```
@max = @a[@i]
```

выполняет присваивание переменной max значения i-го элемента массива a. Заметим, что при наличии в области видимости глобальной и локальной переменных с одним и тем же именем используется локальная переменная.

Для создания строкового представления автомата в процедуре toString введен синтаксис, позволяющий производить доступ к локальным переменным других процедур. Доступ к переменной, объявленной в другой процедуре, осуществляется следующим образом:

@<имя процедуры>@<имя переменной>

Например, оператор

```
buffer.append(@Main@i);
```

осуществляет добавление к буферу значения локальной переменной i процедуры Main.

Для доступа к переменным модели из кода визуализатора применяются для глобальных переменных выражения вида

<переменная модели>.<имя переменной>

а для локальных переменных выражение вида

<переменная модели>.<имя процедуры>\_<имя переменной>

Например:

```
data.max = 0;
System.out.println(data.Main_i);
```

## Пример

Рассмотрим описания логики визуализатора алгоритма поиска максимума в массиве натуральных чисел.

Данная задача может быть решена следующей программой:

```
void main() {
    int max = 0;
    for (int i = 0; i < a.length; i++) {
        if (max < a[i]) {
            max = a[i];
        }
    }
}
```

Здесь a – массив, в котором производится поиск максимума, а max – значение текущего максимума (после i-ой итерации – среди первых i элементов).

Отметим, что инициализация максимума нулем не приводит к ошибке, так как по условию задачи в массиве содержатся только натуральные числа.

На предложенном языке данный алгоритм может быть записан следующим образом:

```
1: <algorithm>
2:   <variable name="a" type="int[]" value="new int[]{1, 2, 3, 1,
3:     6}" description="Массив для поиска"/>
4:   <variable name="max" type="int" value="0"
5:     description="Текущий максимум"/>
6:   <auto id="Main" description="Ищет максимум в массиве">
7:     <variable description="Переменная цикла" name="i"
8:       type="int"/>
9:     <start comment-ru="На экране изображен массив, в котором
10:      будет осуществляться поиск максимума">
11:       <draw>@visualizer.updateArray(0, 0);</draw>
```

```

8:     </start>
9:     <step id="Initialization" description="Инициализация"
        comment-ru="Инициализируем максимум нулем (так как в
        массиве только натуральные числа).">
10:         <draw>@visualizer.updateArray(0, 0);</draw>
11:         <action>@max @= 0;</action>
12:     </step>
13:     <step id="LoopInit" description=":" level="-1"></step>
14:     <while id="Loop" description="Цикл" test="@i < @a.length"
        rtest="@i >= 0" level="-1">
15:         <if id="Cond" description="Условие" test="@max < @a[@i]"
            true-comment-ru="{0} больше текущего максимума ({1})"
            false-comment-ru="{0} не больше текущего максимума
            ({1})"
            comment-args="new Integer(@a[@i]), new Integer(@max)">
16:             <draw>@visualizer.updateArray(@i, 1);</draw>
17:             <then>
18:                 <step id="newMax" description="Обновление максимума"
                    comment-ru="Обновляем текущий максимум">
19:                     <draw>@visualizer.updateArray(@i, 2);</draw>
20:                     <action>@max @= @a[@i];</action>
21:                 </step>
22:             </then>
23:         </if>
24:         <step id="inc" description=":" level="-1"></step>
25:             <forward>@i = @i + 1;</forward>
26:             <reverse>@i = @i - 1;</reverse>
27:         </step>
28:     </while>
29:     <finish comment-ru="Максимум найден ({0})"
        comment-args="new Integer(@max)">
30:         <draw>@visualizer.updateArray(0, 0);</draw>
31:     </finish>
32: </auto>
33: </algorithm>

```

Рассмотрим, некоторые части этого описания подробнее.

Данный алгоритм содержит две глобальные переменные: `a` – массив, в котором осуществляется поиск (объявлена во второй строке) и `max` – текущее значение максимума (объявлена в третьей строке).

В четвертой строке начинается описание основной процедуры `main`, которое заканчивается в строке 31. В процедуре объявлена локальная переменная – индекс текущего элемента массива (строка 4).

За описанием локальной переменной следует описание начального состояния (строки 6–8), включающее комментарий (строка 6) и связь с визуальным представлением (строка 7).

Далее приводится описание шагов алгоритма, начинающееся операторами присваивания начальных значений переменным `max` (строки 9–12) и `i` (строка 13). Отметим, что первое из этих присваиваний визуализируется, а второе – нет, так как для него указан уровень -1.

В строках с 14 по 28 описан оператор цикла с предусловием. Отметим, что для него применяется обращение вручную. Соответствующее условие указано в атрибуте `rtest`.

Тело оператора цикла включает два оператора: ветвления (строки 15–23) и присваивания (строки 24–27). При этом оператор присваивания использует косвенное обращение: в строке 25 указано действие, осуществляемое при прямом проходе, а в строке 26 – действие, выполняемое при обратном проходе.

## Заключение

Предложенный язык описания логики визуализаторов позволяет записывать логику визуализатора в привычной форме, дополняя ее описанием комментариев и связью с визуальным представлением. По такому описанию логика визуализатора может быть сгенерирована автоматически [6].

Автоматизация процесса построения логики визуализатора позволяет реализовывать визуализаторы таких сложных алгоритмов, как, например, алгоритм Укконена построения суффиксного дерева [9] или алгоритм построения кратчайшего дерева путей в графе [10], что практически невозможно при ручном подходе.

Работа выполнена в совместной лаборатории СПбГУ ИТМО и центра разработки Borland «Технологии программирования».

## Литература

1. Byrne M., Catrambone R., Stasko J. Evaluating Animations as Student Aids in Learning Computer Algorithms // *Computers & Education*. 1999. Vol. 33. № 4. P. 253–278.
2. Казаков М.А., Столяр С.Е. Визуализаторы алгоритмов как элемент технологии преподавания дискретной математики и программирования / Международная научно-методическая конференция «Телематика–2000». СПб: СПбИТМО (ТУ), 2000. С. 189–191.
3. Stasko J. Using Student-Built Algorithm Animations as Learning Aids / *Proceedings of the ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE '97)*, CA, 1997, pp. 25–29.
4. Корнеев Г.А., Казаков М.А., Шалыто А.А. Метод построения логики работы визуализатора алгоритмов на основе конечных автоматов. // *Телекоммуникации и информатизация образования*. 2003. № 6. С. 27–58. <http://is.ifmo.ru/works/vis/>
5. Extensible Markup Language (XML) 1.1. <http://www.w3.org/TR/xml11/>.
6. Сайт проекта Vizi // <http://ctddev.ifmo.ru/vizi>
7. Буч Г., Якобсон А., Рамбо Дж. UML. 2-е издание. СПб: Питер, 2006. 736 с.
8. Joy B., Steele G., Gosling J., Bracha G. *Java Language Specification, Second Edition*. NJ.: Addison-Wesley. 2000. <http://java.sun.com/docs/books/jls/>
9. Ахметов И.Р. Разработка визуализатора алгоритма Укконена построения суффиксных деревьев на основе технологии Vizi. <http://is.ifmo.ru/vis/ukkonen/>
10. Пименов С.Ю., Корнеев Г.А., Шалыто А.А. Алгоритм Чу Йонджина и Лю Цзенхонга построения кратчайшего корневого дерева в ориентированном графе. <http://is.ifmo.ru/vis/ctree/>

**МОДЕЛИ УГРОЗЫ В МЕТОДОЛОГИИ ОБЩИХ КРИТЕРИЕВ****А.В. Любимов**

Исследуется возможность структурного моделирования методологии оценки безопасности информационных технологий, основанной на международном стандарте ИСО/МЭК 15408 "Критерии оценки безопасности информационных технологий" (Общие Критерии). В работе построены три UML модели: модель общего контекста безопасности, модель угрозы и модель контекста угрозы и приведены примеры их применения.

**1. Введение****1.1. Предмет и цели исследования**

Предметом исследования в данной работе является методология оценки безопасности информационных технологий, основанная на международном стандарте ИСО/МЭК 15408 «Критерии оценки безопасности информационных технологий» (исторически сложившееся международное название – «Общие Критерии») [1]. Основным содержанием «Общих критериев» (ОК) является изложение единого подхода к оценке безопасности продуктов и систем информационных технологий (ИТ), лежащего в основе унификации и взаимного признания национальных стандартов в области безопасности. Кроме того, ОК представляют собой также средство регламентации всей деятельности по оцениванию безопасности ИТ, которая содержится в «Общей методологии оценки» (ОМО) [2] – нормативном документе, сопровождающим ОК.

Под методологией ОК далее понимается совокупность понятий, методов, средств и функций обеспечения безопасности продуктов и систем ИТ, объединенных рамками упомянутого единого подхода и изложенных в ОК, ОМО и в других нормативно-методических документах, посвященных оцениванию изделий ИТ по ОК [3] и т. д. В зарубежных источниках эту совокупности иногда называют «парадигмой ОК» [4].

Основной перспективной целью исследования является построение системы согласованных формальных моделей методологии ОК, позволяющих эффективно осваивать, сопровождать и поддерживать стандарт на практике. При этом в качестве первоочередной выделяется задача построения структурной модели угрозы информационной безопасности как ключевого компонента методологии ОК. Решение этой задачи представлено в работе в виде трех моделей на языке UML.

**1.2. Актуальность исследования**

Методология ОК основывается на неформальной базовой модели угроз безопасности ИТ, которая применима к любым задачам обеспечения безопасности ИТ. В ОК эта модель не имеет явного описания, ее элементы рассредоточены по тексту стандарта, который, вместе с сопутствующей нормативно-методической документацией, составляет около двух тысяч страниц. При этом значительная часть русскоязычной методической документации находится в стадии разработки [5]. В то же время в [6] справедливо отмечается, что существующие на русском языке пояснения к стандарту весьма скупы. Таким образом, представление базовой модели в интегральной структурированной форме (т.е. в виде формальной модели) является совершенно необходимым условием как для продвижения стандарта, так и для его эффективного применения.

Поскольку понятие угрозы безопасности ИТ неразрывно связано с другими базовыми понятиями методологии ОК, такими как нарушитель, уязвимость, актив, контрамера и т.д., построение базовой модели угрозы невозможно без построения хотя бы элементарных моделей перечисленных понятий и их связей. Эта объемлющая модель далее будет называться моделью контекста угрозы.

Другой, не менее важной, мотивацией построения формальной модели методологии ОК является необходимость разработки средств и методов оперативной актуализации вносимых в стандарт изменений и дополнений, которые при переходе к новым версиям могут быть существенными.

Необходимость разработки структурных моделей методологии ОК в целом либо некоторых ее составляющих неоднократно отмечалась ведущими специалистами в области безопасности ИТ [7], однако до настоящего момента результаты этих работ в отечественной открытой печати не опубликованы.

В зарубежных публикациях этот предмет также практически не затрагивается. Из близких по тематике можно отметить лишь цикл работ Jurjens и др. по языку UMLSec и его применениям [8–10]. Этот язык является стандартным расширением UML, предназначенным для проектирования и разработки безопасных ИС, и включает в себя средства представления проектных и функциональных спецификаций по безопасности, средства тестирования этих спецификаций по безопасности и т. д. Поскольку уровень абстракции UMLSec ниже, чем в рассматриваемой задаче, использовать эти результаты напрямую не представляется возможным, и речь может идти только о согласованности.

## **2. Структурная модель угрозы и ее контекста**

Для построения полной, непротиворечивой и адекватной структурной модели угрозы необходимо описать ее контекст, причем удобно иметь описание контекста в той же форме, что и описание компонентов, т.е. в форме структурной модели. В части 1 ОК представлено описание общего контекста безопасности (ОКБ), которое целесообразно принять за основу при построении структурной модели контекста угрозы.

При моделировании методологии ОК в целом была выбрана следующая последовательность действий. По приведенному в части 1 ОК описанию ОКБ строится начальная структурная модель ОКБ. С ее учетом путем анализа всего корпуса нормативно-методической документации и существующих практик оценивания по ОК строится структурная модель угрозы. Далее строится структурная модель контекста угрозы, которая затем согласуется со структурной моделью ОКБ и присоединяется к ней. По уточненной структурной модели ОКБ могут быть построены, по аналогии с угрозой, структурные модели других компонентов ОКБ – уязвимости, контрамеры, агента угрозы, актива и владельца. Присоединение каждой из упомянутых моделей сопровождается очередным уточнением структурной модели ОКБ. Полученная в итоге интегральная модель представляет собой структурную модель методологии ОК.

### **2.1. ОКБ и его структурная модель**

Описание ОКБ представлено в разделе 4.1.1 части 1 стандарта в виде вербальной модели с графическими и текстовыми комментариями. Каждый ее компонент является прототипом класса структурной модели, а каждая связь – прототипом отношения между классами. По этим компонентам, в соответствии с парадигмой объектного моделирования, были построены 7 протоклассов и 14 связывающих их отношений. В ходе анализа уточнялись имена и определения протоклассов, формировались их возможные роли, обязанности (протоотношения) и атрибуты. Затем обязанности были преобразованы в отношения с уточнением для каждого отношения его имени, стандартного типа,

направления, множественности, набора ролей и с фиксацией возможных преобразований типа.

В результате была построена начальная структурная модель ОКБ, семантика которой (определения, атрибуты и роли классов и отношений) затем уточнялась путем подробного анализа основных документов ОК. Диаграмма классов уточненной структурной модели ОКБ представлена на рис. 1. В результате анализа классы на уточненной диаграмме также становятся атрибутированными (на рисунке атрибуты скрыты для уменьшения размера).

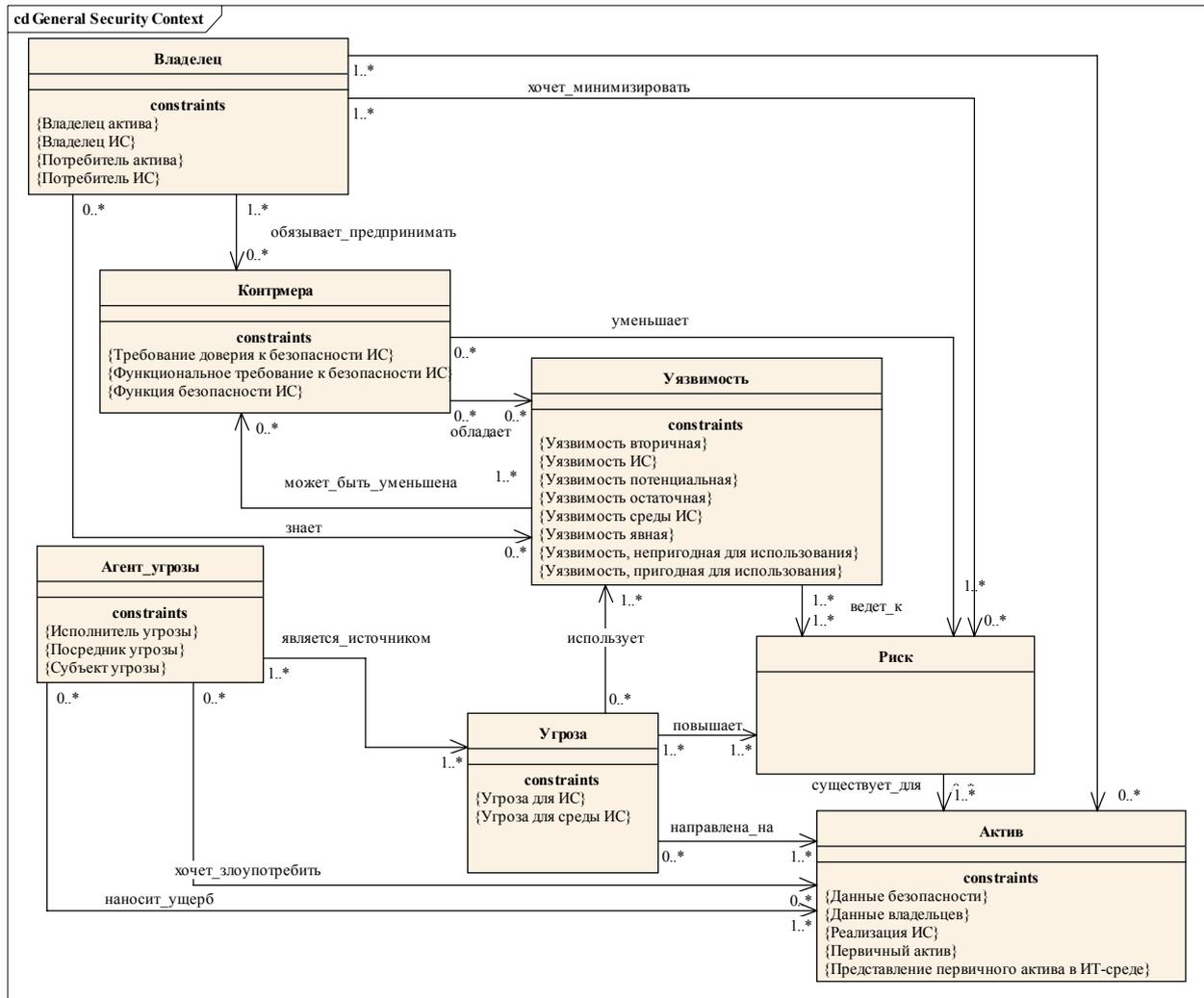


Рис. 1. Диаграмма классов уточненной структурной модели ОКБ

В процессе построения и анализа модели ОКБ становится очевидным, что в методологии ОК существуют структурные и функциональные связи как непосредственно между компонентами угрозы, так и между этими компонентами и другими классами. Таким образом, угроза имеет самостоятельный контекст, который должен моделироваться независимо.

В построенной модели ОКБ структурные связи между классами представлены ассоциациями, которые являются слишком обобщенными и потому малоинформативными отношениями. Для построения реально применимой модели следует провести детализацию классов модели путем выделения их составляющих и характеристик, что позволит также конкретизировать и отношения. Для этого необходимо, в первую очередь, уточнить (представить в виде агрегации составляющих) класс Угроза, который является ключевым в методологии ОК. В итоговой модели этот класс (посредством своих составляющих) должен являться связующим между базовыми (Владелец, Актив, Агент угрозы) и производными

(Уязвимость, Контрмера, Риск) классами. Например, риски определяются в результате анализа угроз и сопоставления их активам, а применяемые контрмеры выбираются по результатам анализа рисков и уязвимостей. Для представления уточненных классов используются отдельные дополнительные диаграммы. Благодаря детализации классов отношения уточняются до уровня агрегаций (композиций) или, по крайней мере, зависимостей.

## 2.2. Структурная модель угрозы

Для построения структурной модели угрозы необходимо, в первую очередь, дать определение этого класса, а затем выделить его составляющие (подклассы) и определить связывающие их отношения.

Из анализа нормативно методической документации и практики применения ОК следует, что содержательно в методологии ОК описание угрозы представляет собой описание совокупности: актив – агент угрозы – вид нарушения безопасности – метод нападения – уязвимость – квалификация угрозы. Таким образом, структура угрозы, фактически реализованная в методологии ОК, включает четыре компонента, которые являются непосредственными подклассами класса угрозы. Некоторые из них связаны с классом угрозы простым отношением агрегирования (part\_of), другие – отношением композиции (сильного агрегирования – composite\_of).

Структурная модель комплексной угрозы представлена на рис. 2.

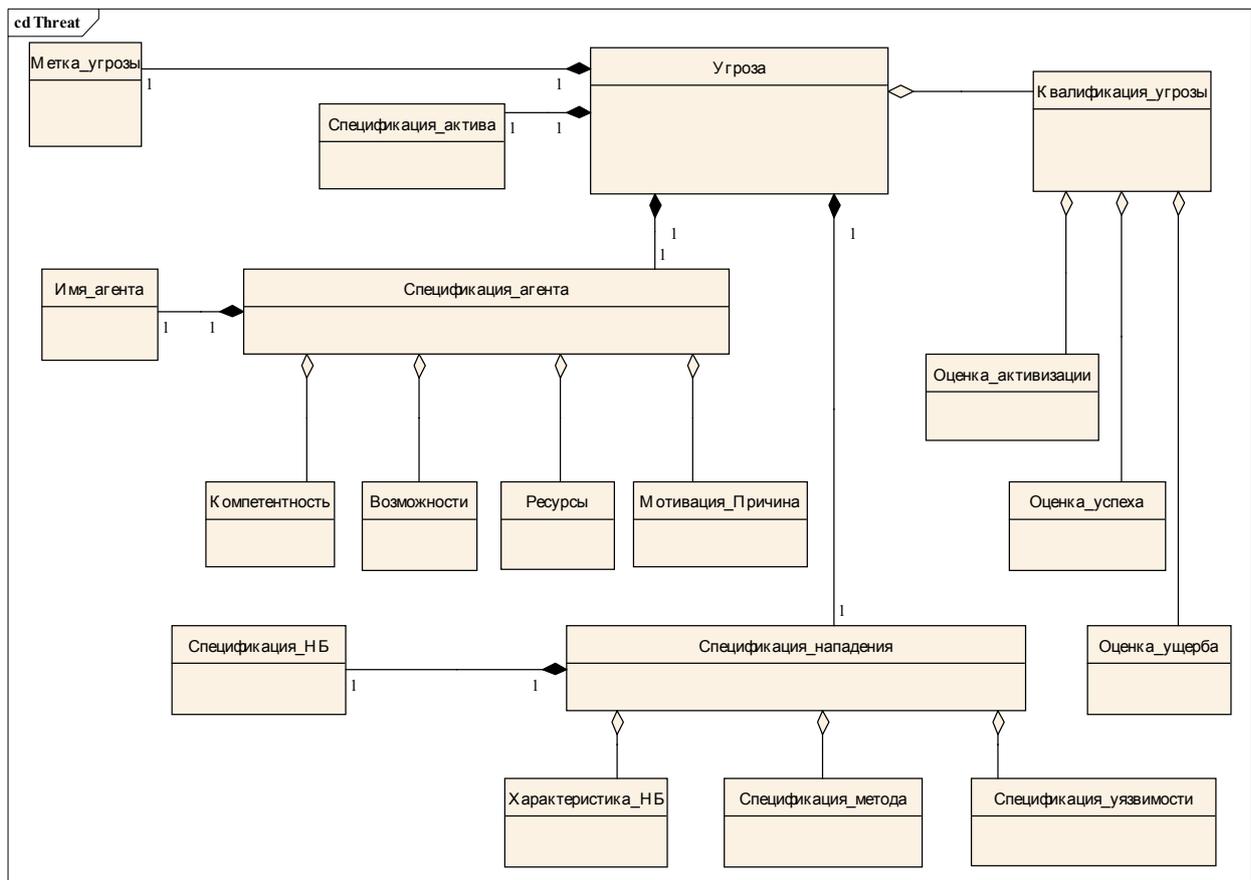


Рис. 2. Структурная модель угрозы

В представленной модели класс Угроза (Threat) определяется как «квалифицированная совокупная спецификация угрожаемых активов, предполагаемых нападений на эти активы и агентов этих нападений». Семантика подклассов Угрозы, в общих чертах ясна из их имен (в модели, естественно, присутствуют их строгие определения). Определения классов, с которыми они имеют связи, приводятся в следующем разделе.

## 2.3. Структурная модель контекста угрозы

### 2.3.1. Группы классов контекста угрозы

Классы контекста модели угрозы можно разделить на три группы.

1) Непосредственные подклассы класса Угроза, отсутствующие в модели ОКБ. В контекстной модели угрозы можно опустить (как чисто внутренние) некоторые классы и подклассы этой группы, а именно: класс Метка\_угрозы, все подклассы класса Спецификация\_агента (Компетентность, Возможности, Ресурсы, Мотивация\_Причина), подкласс Характеристика\_НБ класса Спецификация\_нападения, а также класс Квалификация\_угрозы – как опциональный.

2) Базовые классы модели ОКБ, которые связаны с подклассами класса Угроза либо непосредственно (например, класс Уязвимость), либо через свои подклассы (классы Актив, Агент угрозы). Подклассы этих классов являются расширениями модели ОКБ и вводятся для придания более строгой семантики связям между ее базовыми классами и классом Угроза.

3) Классы, которые отсутствуют в начальной модели ОКБ, но которые были выделены как независимые сущности при анализе понятий, связанных с классом Угроза. К таким классам относятся, в частности, классы Нарушение\_безопасности и Метод\_нападения.

### 2.3.2. Базовые классы модели ОКБ, связанные с классом Угроза

**Актив** – информация или ресурс, который должен быть защищен средствами ИС.

**Угрожаемый\_актив** – конкретная форма представления актива или множества активов, в отношении которой может произойти конкретное нарушение безопасности. Например, «данные пользователя, передаваемые по сети» есть часть актива «данные пользователя», передаваемая по сети в конкретный момент времени. Угрожаемый актив связан с активом отношением обобщения-конкретизации.

Частная структурная модель актива, связывающая этот класс с единственным подклассом Угрожаемый\_актив, является компонентом интегральной структурной модели контекста угрозы.

**Агент\_угрозы** – лицо, группа, организация или фактор, стремящийся, имеющий возможность или способный нарушить безопасность (скомпрометировать активы, нанести ущерб активам или злоупотребить активами).

Класс Агент\_угрозы связан с подклассом Имя\_агента класса Угроза через подклассы Нарушитель и Фактор\_угрозы, которые отсутствуют в ОКБ и были выделены при анализе.

**Нарушитель** – персонифицированный агент угрозы (лицо или организация), наделенный ролью в среде ИС (уполномоченный пользователь, сотрудник организации, постороннее лицо и пр.).

**Фактор угрозы** – неперсонифицированный агент угрозы, атрибутированный характеристикой (ошибка персонала, отказ программного обеспечения, отказ аппаратных средств, отказ источников питания и пр.).

Частная структурная модель агента угрозы с подклассами Нарушитель и Фактор\_угрозы является компонентом интегральной структурной модели контекста угрозы.

**Уязвимость** – ошибка, недоработка или слабость в проекте, реализации, управлении или функционировании ИС, которая потенциально может быть использована для нарушения безопасности в некоторой среде.

### 2.3.3. Классы расширения модели ОКБ

**Нарушение\_безопасности (НБ)** – действие или событие, которое не соответствует политике безопасности ИС или в каком-либо смысле нарушает ее (т. е. любое воздействие на какой-либо актив ИС или использование актива, нарушающее сам актив,



Интегральная структурная модель контекста угрозы представляется диаграммой классов (рис. 3), в которую включаются все классы трех групп, описанные в предыдущих подразделах. Тот факт, что один класс модели ссылается на другой, на диаграмме отображается отношением зависимости (использования).

Полная интегральная модель контекста угрозы содержит 32 класса и 45 связей, которые сведены в 5 диаграмм.

### **3. Примеры применения модели**

1. Выявленная и отраженная в моделях структура угрозы позволяет легко проводить проверку полноты и непротиворечивости представления угроз в профилях защиты и заданиях по безопасности как в уже спроектированных (например, в [11–14]), так и в перспективных, а также согласованность с представлением других компонентов свидетельств оценки.

2. В практике оценки и сертификации продуктов и систем ИТ используются две разновидности угроз – элементарная и комплексная. В элементарной угрозе каждая компонента представлена в единственном экземпляре. Комплексная угроза является кластеризацией совокупности элементарных угроз, которые имеют один или несколько совпадающих компонентов, но различаются одним или несколькими другими.

Представленные модели являются инструментом разработчика и оценщика, позволяющим корректно формировать комплексные угрозы из элементарных. Примеры:

Угроза 1. Нарушитель может получить неуполномоченный доступ к конфиденциальной информации либо ресурсам ограниченного использования, выдав себя за уполномоченного пользователя ОО.

Угроза 2. Уполномоченный пользователь ОО может получить доступ к конфиденциальной информации или ресурсам ограниченного использования, выдав себя за другого уполномоченного пользователя ОО.

TE.CRASH. Ошибка человека, отказ программного обеспечения, аппаратных средств или источников питания могут вызвать внезапное прерывание в работе ОО, приводящее к потере или искажению критичных по безопасности данных.

T.INTEGRITY. Целостность информации может быть поставлена под угрозу из-за ошибки пользователя, аппаратных ошибок или ошибок при передаче.

T.SERVICE\_DEFECT. Нарушитель из враждебной (внешней) сети может использовать недостатки реализации сервисов для того, чтобы получить доступ к хостам (узлам частной сети) или другим сервисам.

### **4. Заключение**

Полученные структурные модели методологии оценки безопасности информационных технологий по ОК дают сжатое, наглядное и формализованное представление содержания и связи основных понятий безопасности ИТ и могут быть использованы: для обучения специалистов; для унификации и проверки соответствия представления компонентов ОКБ в нормативно-методических документах; при конкретизации стандартов в методиках (например, с целью учета национальной специфики); для согласования международных, национальных и корпоративных стандартов безопасности ИТ, а также при разработке ПО поддержки процесса оценки безопасности ИТ по ОК.

### **Литература**

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2002. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Госстандарт России, Москва, 2002.

2. РД Безопасность информационных технологий. Общая методология оценки безопасности информационных технологий (проект). ФСТЭК России, 2005.
3. РД Руководство по разработке профилей защиты и заданий по безопасности. Гос-техкомиссия России, 2003.
4. Towns M. L. Common Criteria Paradigm (CC) / Annual Computer Security Applications Conference, Sheraton New Orleans, Louisiana, USA, December 11 – 15, 2000.
5. Калайда И. А., Трубачев А.П. Современное состояние и направления совершенствования нормативной базы в области IT-безопасности. // Information Security/Информационная безопасность. 2004. №3.
6. Просяников Р.Е., Савельев М.С. Станут ли общими "Общие критерии". // ВУТЕ. 2004. № 8.
7. Бетелин В.В., Галатенко В.А., Кобзарь М.Т., Сидак А.А., Трифаленков И.А. Профили защиты на основе «Общих критериев». // Аналитический обзор. Jet Info, Информационный бюллетень. 2003. №3(118).
8. J. Jurjens. Towards development of secure systems using UMLsec. In H. Hubmann, editor, Fundamental Approaches to Software Engineering (FASE/ETAPS, International Conference), volume 2029 of LNCS, pp. 187-200. Springer-Verlag, 2001.
9. J. Jurjens, UMLsec: Extending UML for Secure Systems Development, UML 2002, Dresden, Sept. 30 . Oct. 4, 2002, LNCS, © Springer-Verlag.
10. J. Jurjens, E. B. Fernandez, R. B. France, and B. Rumpe editors. Critical systems development with UML (CSDUML 2004). TU Munchen Technical Report, 2004. UML 2004 satellite workshop proceedings.
11. РД Безопасность информационных технологий. Межсетевые экраны корпоративного уровня. Профиль защиты (первая редакция). Центр безопасности информации, 2002.
12. РД Безопасность информационных технологий. Межсетевые экраны провайдерского уровня. Профиль защиты (первая редакция). Центр безопасности информации, 2002.
13. РД Безопасность информационных технологий. Операционные системы. Базовый профиль защиты (проект). Центр безопасности информации, 2002.
14. РД Безопасность информационных технологий. Система управления базой данных. Профиль защиты (первая редакция). Центр безопасности информации, 2002.

# ОЦЕНКА УРОВНЯ КРИТИЧНОСТИ СЕГМЕНТОВ СЕТЕЙ СВЯЗИ И СИСТЕМ КОММУТАЦИИ

Л.Г. Осовецкий, Н.А. Минакова

В статье описаны предварительные результаты оценки критичности сегментов сетей связи и систем коммутации с точки зрения информационной безопасности. Результаты получены на начальном этапе экспертной оценкой и представлены в количественных показателях. Сделаны некоторые выводы о критичности сегментов телефонных сетей и необходимости получения количественных оценок не только на основе экспертных.

## Введение

Оценка уровня критичности сегментов сетей связи и систем коммутации позволит выявить наиболее уязвимые участки телефонных сетей и при проведении работ по защите телефонных узлов и сетей создать более эффективную систему защиты информации. Результаты работы также могут быть применены при написании профилей защиты для сетей связи при обосновании выбора иерархии компонента функциональных требований безопасности и оценочных уровней доверия из руководящего документа «Безопасные информационные технологии. Критерии оценки защищенности».

Работы по выявлению угроз и защите телекоммуникационных сетей ведутся в ряде институтов. Компанией «Протей» разработана плата мониторинга потоков информации через узлы телефонные станции, реализующая Концепцию системы тестирования и контроля соединительных линий (СТИКС).

Вопрос оценки необходимых уровней (классов) защиты по сегментам телекоммуникационных сетей рассматриваются редко в силу крайней узости проблемы. Одной из статей посвященных этому вопросу является статья [1], где авторы выделяют два сегмента, но как информационные ресурсы: информация абонентов и служебная информация. Определение уровня защиты производится с учетом классов защищенности из руководящих документов ФСТЭК. Особое внимание уделяется характеристикам надежности и гарантированности доставки сообщений абонентов.

Метод оценки уровня критичности сегмента (МОУКС) не учитывает характеристики надежности коммутационного оборудования в силу существования большого количества подобных параметров, в первую очередь отражающих состояние работоспособности системы, а не информационной безопасности. МОУКС в первую очередь, акцентирован на определении функциональных возможностях каждого из сегментов и существующих механизмах защиты.

## Метод оценки уровня критичности сегментов (МОУКС) сетей связи и систем коммутации

### 1. Классификация сетей связи и систем коммутации

Для наиболее корректного анализа сегментов необходима классификация существующих видов сетей связи с точки зрения информационной безопасности. Предлагается следующая классификация:

1. телефонные сети общего пользования (ТфОП);
2. сотовые сети связи (ССС).

Телефонные сети общего пользования целесообразно разделить на три категории:

1. ведомственные телефонные сети (ВТС), соответственно узлы (УПАТС)
2. городские телефонные сети (ГТС), соответственно узлы (ГАТС)
3. междугородные /международные телефонные сети (МТС), соответственно узлы (АМТС)

Каждая из этих сетей может быть разделена на пять логических сегментов:

1. система управления (СУ) [2],
2. система коммутации (СК) [2],
3. система биллинга (СБ),
4. система сервисов (СС),
5. абонентские устройства (АУ).

Таким образом, на предмет критичности должны быть проанализированы каждый из 5 сегментов четырех видов сетей связи.

## 2. Алгоритм работы МОУКС

МОУКС работает по следующему алгоритму.

1. Определение критериев, которые необходимо учитывать при определении критичности сети связи и систем коммутации.
  - основных угроз;
  - факторов, воздействующих на защищаемую информацию;
  - угроз на основе ФВЗИ;
  - специфических угроз [6].;
  - сценариев атак;
  - возможностей субъектов доступа и др.

Результат: развернутый список: ФВЗИ, специфичные угрозы для СС и СК, стандартные угрозы для ИБ ОИ, сценариев атак, угроз на основе ФВЗИ и возможностей субъектов доступа к АТС. Обоснование выбранных критериев.

2. Анализ каждого из сегментов на наличие в нем специфических угроз, основных угроз, факторов воздействующих на защищаемую информацию, сценарии атак, возможностей субъектов доступа и угроз на основе ФВЗИ.

Результат: 20 списков по каждому из 20 видов сегментов, отражающих 6 вышеперечисленных критериев.

3. Подсчет общего суммарного значения для каждого из 20 видов сегментов по каждому из критериев.

Результат: числовые коэффициенты, отражающие наличие в сегменте определенного ряда угроз из четырех списков критериев, а также коэффициент Несанкционированных возможностей субъектов доступа АТС.

4. Сравнение результатов.

- 4.1. Сравнение результатов для сегментов одного типа в разных сетях.

Результат: отношение критичности сегмента по сравнению с другими сетями.

- 4.2. Сравнение результата для сегментов разного типа одной сети.

Результат: отношение критичности сегмента сети по сравнению с другими сегментами этой сети.

- 4.3. Сравнение результатов при анализе сценариев атак.

Результат: список сегментов, уязвимых через рассматриваемый сегмент, и список сегментов, через которые рассматриваемый сегмент становится уязвимым.

5. Определение уровня критичности сегмента на основе суммарного веса или процентного соотношения ФВЗИ, возможностей субъектов доступа, специфических угроз, стандартных угроз, угроз на основе ФВЗИ, коэффициента уязвимости, основанного на сценарии анализа атак.
6. Определение 5 уровней критичности при анализе результатов по суммарному весу коэффициентов, процентному соотношению, выработанных математических моделей.
7. Присвоение уровня критичности каждому из 5 сегментов 4-х различных видов сети.

### 3. Некоторые результаты работы МОУКС

#### 3.1. Угрозы сетей связи и систем коммутации

Результаты оценки шести основных видов угроз сетей связи и систем коммутации представлены в таблице 1.

	СУ	СК	СБ	СС	АУ
<b>ВТС</b>	1	1	4	3	3
<b>ГТС</b>	1	2	4	3	3
<b>АМТС</b>	2	4	3	3	4
<b>ССС</b>	1	3	3	2	2

Таблица 1. Результаты оценки шести основных видов угроз сетей связи и систем коммутации

Примечание: первой степени присуще все 6 видов угроз, второй – 5 видов угроз, третьей – 4, четвертой – 3 и менее.

#### 3.2. Факторы, воздействующие на защищаемую информацию [3]

Результаты оценки ФВЗИ сетей связи и систем коммутации представлены в таблице 2.

<b>ГОСТ 51275-99.</b> <b>Описание фактора воздействующего на защищаемую информацию.</b>	СУ	СК	СБ	СС	АУ
<b>УЩАТС</b>					
Для объективных факторов	17	22	10	9	14
Для субъективных факторов	30	26	27	16	13
Для внутренних субъективных факторов	19	16	19	12	8
Для внешних субъективных факторов	11	10	8	4	5
<b>Итого</b>	47	48	37	25	25
<b>ГАТС</b>					
Для объективных факторов	15	22	5	6	12
Для субъективных факторов	36	34	34	18	10
Для внутренних субъективных факторов	23	19	23	13	4
Для внешних субъективных факторов	13	15	11	5	6
<b>Итого</b>	51	56	39	24	22
<b>АМТС</b>					
Для объективных факторов	14	23	10	6	0
Для субъективных факторов	35	34	34	23	0
Для внутренних субъективных факторов	22	19	21	18	0
Для внешних субъективных факторов	13	15	13	5	0
<b>Итого</b>	49	57	44	29	0
<b>ССС</b>					
Для объективных факторов	12	19	12	12	11
Для субъективных факторов	41	37	38	37	26
Для внутренних субъективных факторов	23	23	23	23	17
Для внешних субъективных факторов	17	14	15	14	9
<b>Итого</b>	53	56	51	49	37

Таблица 2. Результаты оценки ФВЗИ сетей связи и систем коммутации

Выводы для ведомственной телефонной сети:

- От общего числа факторов, воздействующих на защищаемую информацию для объекта АТС – 185 ФВЗИ, число воздействующих на СУ составляет 25% (сравнимо только с ФВЗИ системы коммутации, что обусловлено детализацией объективных ФВЗИ присущих СК).
- Из 25% ФВЗИ субъективных – 16%, объективных – 9%.
- Субъективные факторы делятся на внутренние и внешние. Для системы управления внутренние факторы преобладают над внешними и составляют 10% , в то время как внешние - 6%.

### **3.3. Результаты оценки сценариев атак на сегменты сети связи и системы коммутации**

НСД к одному из сегментов может привести к воздействию на другие сегменты, НСД к ним, к прямому выводу из строя, модификации данных сегмента или реализации какой-либо другой угрозы приводящей к одному из видов ущерба.

	<b>Коэф. критичности</b>	<b>Коэф. уязвимости</b>	<b>Суммарный вес</b>
СУ	5	3	8
СК	4	3	7
СБ	2	5	7
Сер	3	2	5
АУ	4	5	9

Таблица 3. Результаты оценки сценариев атак на сегменты сети связи и системы коммутации

### **3.4. Результаты возможностей субъектов доступа к сетям связи и системам коммутации**

Несанкционированные действия администратора АТС могут привести к активации приблизительно 60 % угроз от общего числа.

Несанкционированные действия разработчика АТС могут привести к активации приблизительно 42 % угроз от общего числа.

Несанкционированные действия операторов/электромонтеров АТС могут привести к активации приблизительно 27 % угроз от общего числа.

Несанкционированные действия технического персонала поставщиков АТС могут привести к активации приблизительно 46 % угроз от общего числа.

Несанкционированные действия администраторов СОПМ АТС могут привести к активации приблизительно 10 % угроз от общего числа.

Несанкционированные действия абонентов АТС могут привести к активации приблизительно 26 % угроз от общего числа.

Несанкционированные действия Абонентов сопряженной сети связи АТС могут привести к активации приблизительно 3% угроз от общего числа.

### **3.5. Общая таблица предварительных показателей МОУКС**

В таблице 4 представлены предварительные результаты по четырем направлениям оценки. Далее планируется сведение результатов к одному из пяти коэффициентов критичности.

Вид сети	Тип сегмента	ФВЗИ		Специфические угрозы		Стандартные угрозы ОИ		Коэффициент уязвимости	
		100% - 250		100% - 30		100% - 15		100% - 50	
УЩАТС	СУ	47	185	6	22	1	8	8	36
	СК	48		6		3		7	
	СБ	38		2		1		7	
	Серв.	25		4		2		5	
	АУ	28		4		1		9	
ГАТС	СУ	51	192	6	21	1	8	8	36
	СК	56		5		3		7	
	СБ	39		2		1		7	
	Серв.	24		4		3		5	
	АУ	22		4		1		9	
АМТС	СУ	49	179	5	19	1	8	8	36
	СК	57		3		2		7	
	СБ	44		4		2		7	
	Серв.	29		4		3		5	
	АУ	0		3		0		9	
ССС	СУ	53	246	6	23	1	10	8	36
	СК	56		4		1		7	
	СБ	51		4		3		7	
	Серв.	49		5		3		5	
	АУ	37		4		2		9	
<b>Максимальный показатель критерия</b>			<b>250</b>		<b>30</b>		<b>15</b>		<b>50</b>

Таблица 4. Сводная таблица предварительных показателей МОУКС

### Заключение

Предполагается произвести расчет для сценариев атак отдельно для каждой из четырех видов сетей. Основное отличие ожидается для сети сотовых операторов связи, так как функциональные возможности абонентских устройств несколько выше, и возможность НСД к ним и с их стороны также требуют тщательного анализа.

Одним из недостатков полученных результатов является предварительная экспертная оценка, которая не отличается строгостью (однозначностью) получаемых результатов. В связи с этим делаются шаги для разработки количественных оценок. Выбраны критерии, на основе которых будет построена математическая модель оценки критичности сегмента системы сервисов (СС). Система сервисов АТС делится на дополнительные виды обслуживания (ДВО) АТС и интегрированные сервисы (как правило, обладающие отдельной аппаратной платформой в виде интегрированной платы).

Критерии для ДВО системы сервисов:

$ab$  – количество абонентов АТС ( $ab=2048$ );

$ab'$  – максимальное количество абонентов, имеющих доступ к тарифицируемым ДВО ( $ab'=2048$ );

$ab''$  – максимальное количество абонентов имеющих доступ к внешним ДВО ( $ab''=600$ );

$d$  - количество ДВО ( $d=400$ );

$d'$  - из них тарифицируемых ДВО (следовательно, требующих защиты) ( $d'=300$ );

$d''$  – ДВО внешнего доступа ( $d''=50$ );

$k$  – количество категорий абонентов ( $k=100$ );

$p$  – pin-код (есть - максимальное число знаков, нет-0) ( $p=4$ );  
 $p^*$  – код авторизации (есть- максимальное число знаков, нет-0) ( $p=12$ );  
 $n^{**}$  – количество номеров внешнего доступа к ДВО ( $n^{**}=2$ );  
 $l^{**}$  – количество соединительных линий;

$cdr$  – ведение журнала регистрации звонков (да - количество параметров, нет - 0);

$t$  – время хранения  $cdr$  (один месяц -1, год -12);

$c$  - количество копий информации  $cdr$  (например, СБ) ( $c=2$ );

В скобках приведены возможные значения для АТС различных производителей (Nokia, Avaya, Huawei, Ericsson, Panasonic и др.).

### Литература

1. Гончарок М. Х., Крюков Ю. С. Построение системы защиты информации в цифровых АТС и выбор класса защищенности // Защита информации. Конфидент - 2004 № 2. С. 2–7.
2. А. Ярмухаметов. Информационная безопасность корпоративных (ведомственных) сетей связи // Информост – радиоэлектроника и телекоммуникации. 2002. № 3.
3. ГОСТ Р 51275-99 «Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на защищаемую информацию».

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ АДАПТИВНЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Ф.Г. Нестерук, Л.Г. Нестерук, С.И. Воскресенский, Г.Ф. Нестерук

Обсуждается использование распределенных адаптивных информационных полей нейронных сетей для обеспечения информационной безопасности (ИБ). Показаны пути введения избыточности в информационные поля нейро-нечетких классификаторов, используемых для обеспечения ИБ систем информационных технологий (ИТ).

## Введение

Одним из перспективных путей развития средств информационной безопасности (ИБ) является сочетание возможностей эволюционных методов и представления знаний в виде структурированных информационных полей [1]. В биосистемах полевое представление информации характеризуется следующей совокупностью атрибутов:

- адаптивность,
- структурированность,
- распределенный характер хранения и обработки информации,
- информационная избыточность.

Придание системам ИБ (СИБ) эволюционных качеств связано, в первую очередь, с атрибутом адаптивности информационных полей нейронных сетей (НС). Адаптивность позволяет СИБ оперативно и автоматически реагировать на изменение поля угроз, накапливать в информационных полях НС опыт нейтрализации атак и использовать его для обеспечения информационной безопасности ИТ-системы.

Структурированность информационных полей НС проявляется в описании структуры связей, а не заданной последовательности операций по преобразованию информации. Структурированное описание информационных полей НС задает распределенный характер хранения и обработки информации, причем процесс преобразования информации заключается в распределенном по структуре НС взаимодействии оперативных данных с информационными полями нейросетевых средств обеспечения ИБ.

Одним из основных достоинств распределенных адаптивных полей в СИБ является информационная избыточность, которая проявляется в комплементарности представления и многократном дублировании информации.

Характерной чертой известных нейро-нечетких сетей является специализация описания и последующей реализации, в частности нейро-нечетких средств классификации объектов [2]. Специализация описания выражается в формировании системы нечетких предикатных правил, представляющих процедуру получения заключений на заданном множестве посылок. Например, можно сформировать систему нечетких предикатных правил (не вполне корректную, так как правила  $R_1$  и  $R_2$  – взаимоисключающие) с использованием функции принадлежности:  $L$  - «большая» (Large) и  $S$  - «малая» (Small), которая нечетким посылкам  $\tilde{x}_i, i = 1, 2$ , ставит в соответствие нечеткое заключение  $\tilde{y}$ :

$R_1$  : если  $\tilde{x}_1$  есть  $S$  и  $\tilde{x}_2$  есть  $S$ , то  $\tilde{y} = L$ ,

$R_2$  : если  $\tilde{x}_1$  есть  $S$  и  $\tilde{x}_2$  есть  $S$ , то  $\tilde{y} = S$ ,

$R_3$  : если  $\tilde{x}_1$  есть  $S$  и  $\tilde{x}_2$  есть  $L$ , то  $\tilde{y} = S$ ,

$R_4$  : если  $\tilde{x}_1$  есть  $L$  и  $\tilde{x}_2$  есть  $S$ , то  $\tilde{y} = S$ ,

$R_5$  : если  $\tilde{x}_1$  есть  $L$  и  $\tilde{x}_2$  есть  $L$ , то  $\tilde{y} = L$ .

Специализация нейросетевой реализации классификатора (рис. 1) проявляется в функциональной разнородности слоев формальных нейронов (ФН). Приведенная система нечетких предикатных правил для нечеткой модели вывода Mamdani отражается в специализации слоев нечеткой НС, соответствующих отдельным этапам нечеткого логического вывода [3], а именно:

- 1) введению нечеткости (fuzzification) соответствует слой входных функций принадлежности  $S$ - small и  $L$  - large;
- 2) нечеткому логическому выводу соответствует слой нечетких правил (fuzzy rules)  $R_j$ ,  $j = 1, \dots, k$ ,  $k$  – число нечетких предикатных правил;
- 3) композиции нечетких подмножеств  $\mu_{R_j}$ ,  $j = 1, \dots, k$ , соответствует слой выходных функций принадлежности (output membership functions);
- 4) объединению (aggregation) нечетких подмножеств и приведению к четкости (defuzzification) соответствует выходной слой.

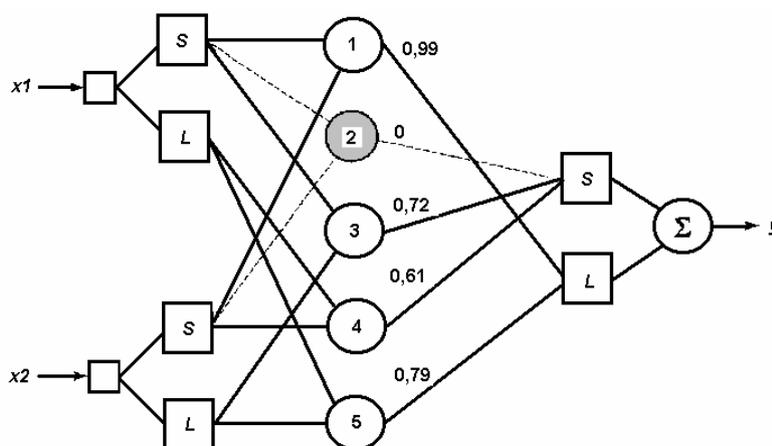


Рис. 1. Нейро-нечеткий классификатор для логической функции Равнозначность

Важным достоинством нейро-нечетких средств является «прозрачность», отражения в структуре классификатора, как системы нечетких предикатных правил, так и результатов процесса адаптации информационного поля НС. В процессе обучения веса связей информационного поля сходятся к конкретным значениям, анализ которых позволяет корректировать исходную систему нечетких предикатных правил. В частности, вес связи, соответствующей правилу 2 (см. рис. 1), равен 0, что позволяет исключить правило  $R_2$  из системы нечетких предикатных правил как противоречивое.

### Организация нейро-нечетких средств классификации

Рассмотрим подход к построению нейро-нечетких сетей, ориентированных на классификацию нечетких входных векторов. Классификаторы подобного типа используются в модели адаптивной защиты [1] для идентификации угроз по входному вектору признаков атак или идентификации механизмов защиты по вектору угроз (рис. 2) [4].

Первый слой нейро-нечеткого классификатора содержит  $m$ , по числу координат входного вектора  $X = \{\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_m\}$ , узлов с комплементарными нечеткими связями [5], формирующих  $m$  пар нечетких высказываний вида:  $\tilde{x}_i$  есть  $S$ ,  $\tilde{x}_i$  есть  $L$ ,  $i = 1 \dots m$ , где  $S$  и  $L$  – функции принадлежности. Второй слой содержит до  $2^m$  нечетких ФН, выполняющих операцию логического вывода (на рис.2 – операцию «конъюнкция») над нечеткими высказываниями первого слоя НС для формирования системы нечетких заключений. Третий слой содержит  $n$ , по числу координат выходного вектора, нечетких

ФН, выполняющих операцию композиции (на рис. 2 – операцию «дизъюнкция») над нечеткими заключениями второго слоя НС для формирования  $n$ -мерных векторов  $Y$  выходных нечетких заключений  $(\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_n)$  в соответствии с системой нечетких предикатных правил.

Главным недостатком нейро-нечетких сетей является отсутствие избыточности информационного поля, что в значительной степени лишает их важного достоинства НС – функциональной устойчивости и защищенности.

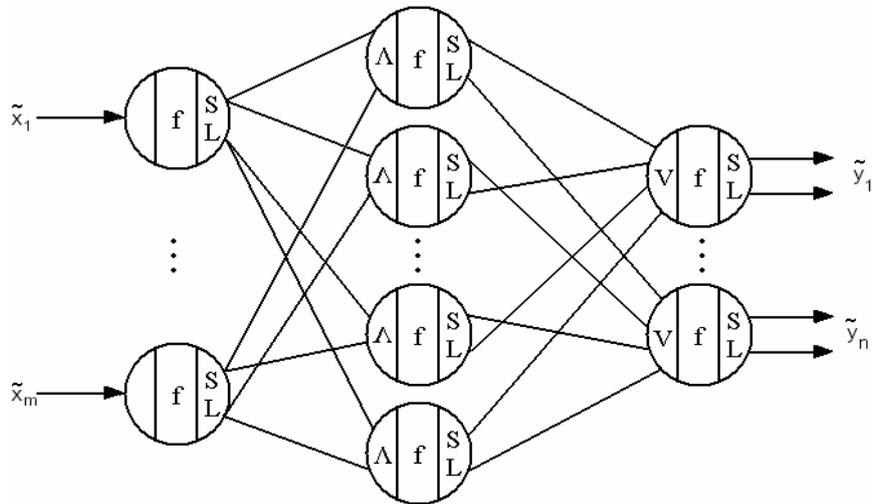


Рис. 2. Структура классификатора нечетких входных векторов

### Повышение избыточности нейро-нечетких классификаторов

В биосистемах механизмы функциональной устойчивости и защиты основаны на избыточности представления информации в виде структурированных полей. В связи с этим следует обратить внимание на пути повышения избыточности информационных полей нейро-нечетких сетей. В биосистемах избыточность информационных полей нейронных сетей обеспечивается [6] за счет:

- представления информации структурированными полями,
- комплементарного дублирования информационных полей взаимодополняющей информацией.
- повторяющихся фрагментов информационного поля.

В настоящей работе преследуется цель повышения избыточных информационных полей нечетких НС, которые, с одной стороны, доступны для анализа, а с другой – обеспечивают функциональную устойчивость и информационную защищенность, свойственную четким нейронным сетям. Таким образом, избыточность информационного поля создает потенциальную возможность для распределенного хранения информации в структурированных полях нечеткой НС (в виде системы комплементарных нечетких связей), а специализация слоев ФН в нечетких НС позволяет анализировать результаты обучения информационных полей НС.

В качестве аппарата для формализации преобразований над нечеткими высказываниями можно использовать аналог нормальных форм для четких высказываний в виде дизъюнктивной (ДНФ) и конъюнктивной (КНФ) нормальных форм.

Для достижения поставленной цели предлагается следующее.

- По аналогии с первым слоем нейро-нечеткого классификатора (рис. 2), исходя из значения нечетких координат входного вектора  $\tilde{x}_i, i = 1 \dots m, m$  – число входов НС, формировать на выходах узлов первого слоя нечеткой НС пары взаимоисключаю-

щих нечетких высказываний  $\tilde{x}_i$  есть  $L$ ,  $\tilde{x}_i$  есть  $S$ , где  $L$  и  $S$  – функции принадлежности, соответственно «большая» и «малая», т.е.  $L(\tilde{x}_i)$  и  $S(\tilde{x}_i)$ , таких что комплементарные пары значений истинности в сумме дают 1:  $L(\tilde{x}_i) + S(\tilde{x}_i) = 1$ .

- Для передачи значений  $L(\tilde{x}_i)$  и  $S(\tilde{x}_i)$  между входными узлами и входами формальных нейронов второго слоя (слоя логического вывода нечеткой НС) использовать комплементарные нечеткие связи  $FL$  (fuzzy links) [5]. На рис. 3 показана одна из нечетких связей – для выхода  $L(\tilde{x}_i)$  из комплементарной пары нечетких связей  $L(\tilde{x}_i)$  и  $S(\tilde{x}_i)$ .
- Аналогичные комплементарные пары нечетких связей использовать для организации межнейронных соединений между слоем логического вывода и слоем композиции нечеткой НС, т.е. формировать информационное поле нечеткой НС в виде системы комплементарных нечетких связей.

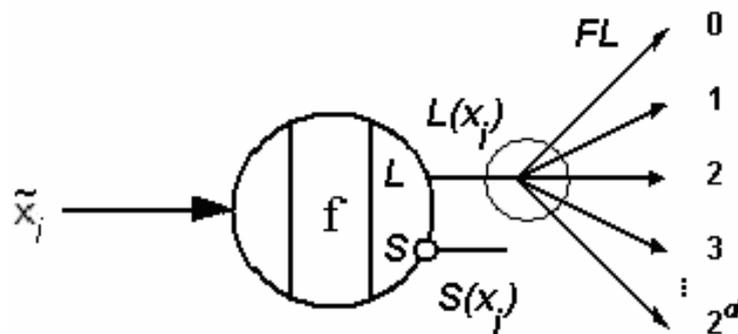


Рис. 3. Входной узел и нечеткая связь в нейро-нечетком классификаторе

- Системы нечетких предикатных правил, отражающие экспертные оценки для системы адаптивной защиты, формально представить в виде, аналогичном ДНФ, причем в качестве аргументов в термах-произведениях использовать комплементарные пары нечетких высказываний  $L(\tilde{x}_i)$  и  $S(\tilde{x}_i)$ .
- Для обеспечения избыточности информационного поля нечеткой НС формальную запись системы нечетких предикатных правил «развернуть» в форму, аналогичную совершенной ДНФ, т.е. термы-произведения, реализующие операцию  $min$  логического вывода, представить минтермами (т.е. содержащими все  $m$  нечетких аргументов вида  $L(\tilde{x}_i)$  или  $S(\tilde{x}_i)$ ).
- Для обеспечения избыточности информационного поля нечеткой НС использовать нечеткие связи на выходах  $L(\tilde{x}_i)$  и  $S(\tilde{x}_i)$  слоя логического вывода для реализации комплементарных пар термов, а именно: выходы  $L(\tilde{x}_i)$  – минтермов, выходы  $S(\tilde{x}_i)$  – макстермов (инверсию минтермов  $L(\tilde{x}_i)$  логического вывода).
- Для обеспечения избыточности информационного поля формировать третий слой нечеткой НС (слой композиции механизма нечеткого вывода) из двух групп нечетких ФН: в первую группу включить нечеткие ФН «дизъюнкция» (как на рис. 2), реализующих операцию  $max$  над минтермами (операции  $max$  соответствует логическая операция дизъюнкции), во вторую группу – нечеткие ФН «конъюнкция», реализующих операцию  $max$  над макстермами (операции  $max$  в последнем случае соответствует логическая операция конъюнкции).
- В результате преобразований на выходах  $L(\tilde{x}_i)$  и  $S(\tilde{x}_i)$  первой группы из нечетких ФН «дизъюнкция» будет реализовано, соответственно, прямое и инверсное

представление системы нечетких предикатных правил, а на выходах  $L(\tilde{x}_i)$  и  $S(\tilde{x}_i)$  второй группы из нечетких ФН «конъюнкция» - соответственно, инверсное и прямое представление системы нечетких предикатных правил.

- Выделение двух групп ФН в слое композиции позволяет объединить на нечетких ФН «дизъюнкция» дополнительного четвертого слоя композиции нечеткой НС (рис. 4) одноименные правила реализуемой системы нечетких предикатных правил (отдельно в прямом и отдельно инверсном представлении).

Представляется целесообразной также форма введения избыточности в информационное поле нейро-нечеткой сети за счет увеличения размерности входных данных путем добавления к входному вектору  $X$  вектора  $Z$  текущего состояния СИБ (рис. 5).

Подобная коррекция структуры СИБ вызывает не только увеличение размерности входных данных классификатора, но и расширяет систему нечетких правил логического вывода, которая учитывает не только координаты входного вектора  $X$ , но и координаты вектора  $Z$  текущего состояния СИБ, что, в свою очередь, также приводит к возрастанию избыточности информационного поля нейро-нечеткого классификатора.

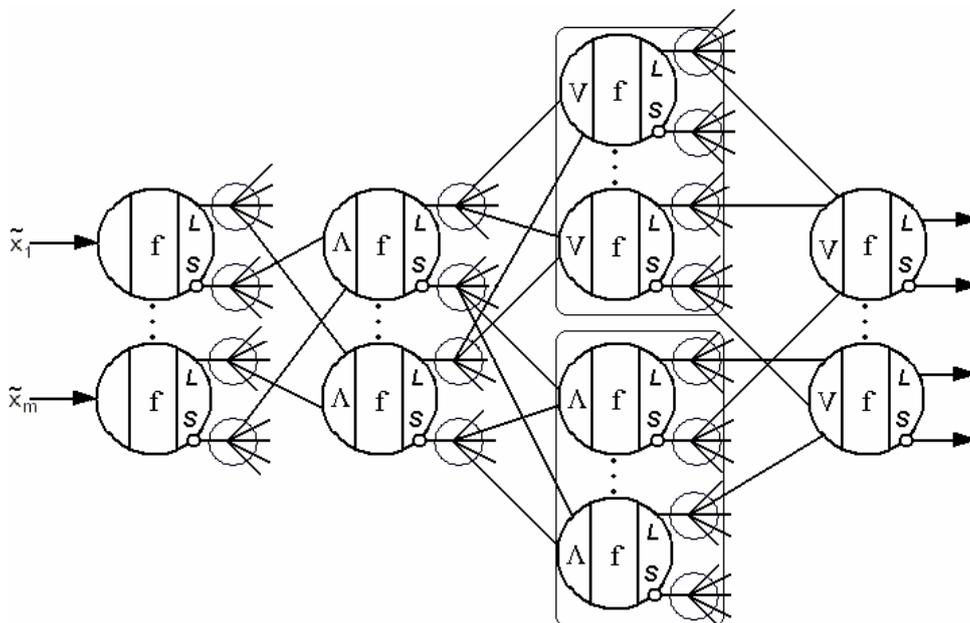


Рис. 4. Структура избыточного классификатора нечетких входных векторов

В последнем случае в процессе работы классификатора производится не только формирование вектора  $Y$  по векторам  $X$  и  $Z$ , но и формируются предложений  $C$  по изменению состояния системы.

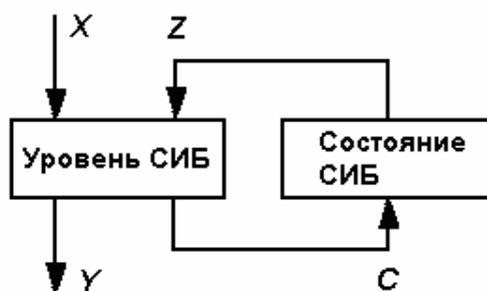


Рис. 5. Коррекция иерархического уровня нейро-нечеткого классификатора

## Заключение

Введение вышеописанным образом избыточности в информационное поле нейро-нечеткого классификатора расширяет возможности анализа результатов обучения и эксплуатации нейросетевых систем информационной безопасности.

## Литература

1. Нестерук Г.Ф., Осовецкий Л.Г., Нестерук Ф.Г. О применении нейро-нечетких сетей в адаптивных системах информационной защиты // Нейроинформатика-2005: Материалы VII всероссийской научно-технической конференции. М.: МИФИ (ТУ), 2005. Ч.1. С. 163–171.
2. Fuller R. Neural Fuzzy Systems. / Abo: Abo Akademi University, 1995.
3. Negnevitsky M. Artificial intelligence: a guide to intelligent systems. Addison-Wesley, 2002.
4. Нестерук Г.Ф., Куприянов М.С., Елизаров С.И. К решению задачи нейро-нечеткой классификации. / Сб. докл. VI Междунар. конф. SCM'2003. СПб: СПбЭТУ, 2003. т. 1. С. С. 244-246.
5. Nesteruk G. Ph., Kupriyanov M. S. Neural-fuzzy systems with fuzzy links. / Proc. of the VI Int. Conf. SCM'2003. St. Petersburg: St.PbSETU "LETI". 2003. V. 1. P.341–344.
6. Лобашев М. Е. Генетика. Л.: Изд-во ЛГУ, 1969.

# ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ

Е.А. Проценко

В статье рассматриваются методы нормативного правового обеспечения информационной безопасности, а также дается краткая характеристика основных нормативных правовых актов в области информации, информатизации и защиты информации. Выявлены проблемы нормативного правового обеспечения информационной безопасности России и предложены пути их решения.

Так как проблема обеспечения информационной безопасности носит самостоятельный и комплексный характер, то формирование нормативной правовой базы в этой области должно стать базовым звеном.

В России уже довольно продолжительное время отдельными блоками формируется такая нормативная правовая база, что, по мнению И.Л. Бачило, В.А. Копылова и других специалистов, в скором времени должно привести к созданию «Информационного кодекса». Однако принятые федеральные законодательные акты не в полной мере регулируют многообразие общественных отношений, связанных с развитием информатизации и обеспечением информационной безопасности Российской Федерации, а также вносят разобщенность в терминологический аппарат свойственной данной сфере общественных отношений.

Основной целью формирования таких нормативных правовых актов является создание условий для реализации прав и свобод человека в сфере противодействия угрозам со стороны физических, юридических лиц и государства, особенно в информационной сфере. Такое противодействие проявляется путем ликвидации угроз и минимизации ущерба от проявления угроз посредством предупреждения, а также пресечения и минимизации последствий проявления таких угроз.

В структуре правового обеспечения информационной безопасности как вида деятельности выделяются:

- нормативное правовое обеспечение информационной безопасности;
- правовое обеспечение информационной безопасности как направление юридической науки;
- правовое обеспечение информационной безопасности как система учебных программ и курсов.

Нормативное правовое обеспечение информационной безопасности находит свое отражение в системе нормативных правовых актов, которые выступают в качестве источников права. К числу основных источников можно отнести:

- Конституцию РФ;
- Международные договоры РФ;
- федеральные конституционные законы РФ;
- федеральные законы РФ;
- подзаконные акты Президента РФ и Правительства Российской Федерации;
- акты законодательных и исполнительных органов власти субъектов РФ,

а также

- решения Конституционного суда РФ;
- разъяснения Верховного суда РФ и Высшего арбитражного суда РФ.

Средства обеспечения информационной безопасности представлены на рис. 1.

Научное правовое обеспечение информационной безопасности включает в себя исследования:

- правовой характеристики объектов национальных интересов в информационной сфере;

- способов проявления угроз;
- правовых механизмов и средств противодействия угрозам;
- способов взаимодействия различных отраслей права и др.

Научное правовое обеспечение информационной безопасности реализуется путем опубликования материалов исследований в периодических изданиях, защиты диссертаций, издания монографий, разработки учебных программ и курсов.

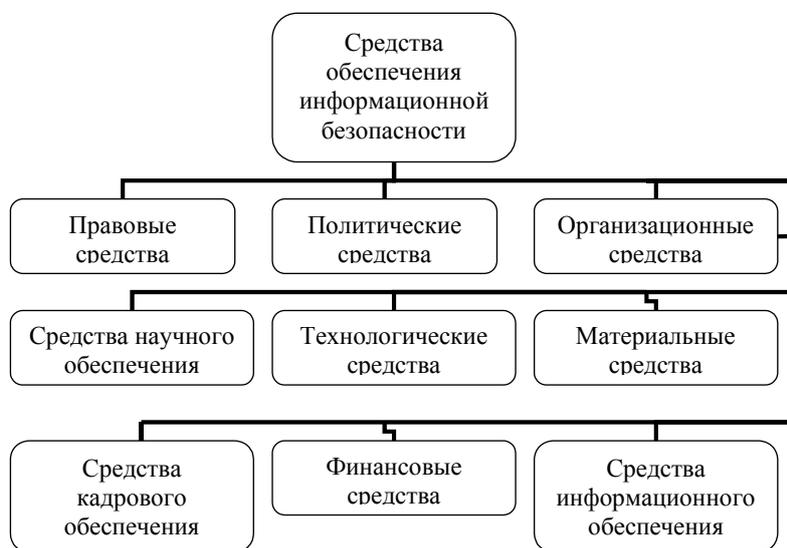


Рис. 1. Средства обеспечения информационной безопасности

Среди наиболее значимых работ следует назвать труды А.Б. Агапова, Ю.М. Батурина, И.Л. Бачило, А.Б. Венгерова, М.А. Вуса, В.А. Дозорцева, В.А. Копылова, Б.А. Костяковского, В.Н. Лопатина, С.А. Муромцева, П.И. Новгородцева, Т.А. Поляковой, М.М. Рассолова, А.П. Сергеева И.А. Ильина, П.Б. Струве, Е.Н. Трубецкой, Б.Н. Чичерена, В.И. Ярочкина и некоторых других.

К числу актуальных научных задач правового обеспечения информационной безопасности относятся следующие [1]:

- исследование места и роли проблем информационной безопасности в становлении современного информационного общества;
- исследование проблем обеспечения баланса интересов личности, общества и государства в информационной сфере;
- разработка единого понятийного аппарата (терминов и определений) в сфере информационной безопасности;
- совершенствование правового обеспечения, регламентирующего создание и использование банков данных, а также иных информационных ресурсов, имеющих федеральное значение;
- разработка моделей и правовых механизмов взаимодействия Центра и субъектов Российской Федерации в информационной сфере;
- разработка моделей и правовых механизмов взаимодействия органов власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления в информационной сфере.
- разработка методов анализа правовых условий, способствующих проявлению угроз безопасности;
- разработка методов конструирования эффективных правовых механизмов противодействия угрозам;

- разработка методов оценки эффективности правового обеспечения информационной безопасности и ряд других.

Решение этих задач позволит повысить эффективность правового регулирования отношений в области информации, информатизации и защиты информации, а также сформировать условия для подготовки высококвалифицированных специалистов в рассматриваемой области.

В основе каждой из вышеуказанных составляющих правового обеспечения информационной безопасности (нормативное правовое обеспечение, научные исследования, учебные программы и курсы) лежат отдельные принципы, и каждая из этих составляющих использует для достижения стоящей перед ней цели определенные методы.

Принципы нормативного правового обеспечения информационной безопасности заключаются в определении основных составляющих его правовых институтов и норм – законности, целенаправленности, дополнительности, адекватности, полноты и непротиворечивости. Отдельно выделяют принципы правового обеспечения информационной безопасности как направления юридической науки – историзм, системность, объективность.

Методы нормативного правового обеспечения информационной безопасности включают в себя приемы юридического воздействия на общественные отношения с помощью различных комплексов юридических средств:

- метод централизованного регулирования (субординации);
- метод децентрализованного регулирования (координации);
- метод запрета, юридической ответственности, позитивного обязывания;
- метод поощрения, убеждения, принуждения и др.

К общенаучным методам относят диалектический метод, исторический метод, системный метод, К теоретико-правовым методам относят формально-логический и сравнительный методы, а также метод толкования, метод систематизации, метод анализа правовых норм и др.

Переходя к структуре информационного законодательства, следует отметить, что нормативная правовая база правового государства может представлять собой совокупность базовых, отраслевых, специальных и других законодательных и подзаконных актов в информационной сфере. Формирование такой базы происходит на основании Конституции страны путем издания базовых законов, концептуальных и доктринальных актов и документов, которые образуют комплексную систему права (*далее – система*). Эта система представляет собой совокупность институтов и правовых норм (информационного, конституционного, гражданского, административного и уголовного права) регулирующих правовые отношения, направленные на обеспечение защищенности национальных интересов РФ в информационной сфере, которые состоят из совокупности сбалансированных интересов личности, общества и государства, от внутренних и внешних угроз.

В Концепции правовой информатизации России [2], утвержденной Указом Президента от 28 июня 1993 года, отмечается проблема построения правового государства в условиях обновления общества, становления рыночной экономики, построения современного демократического государства, путем решения глобальной задачи «формирования в России единого информационно-правового пространства, обеспечивающего правовую информированность всех структур общества и каждого гражданина в отдельности, ибо правовая образованность необходима, чтобы расти в условиях демократии».

Достичь данного уровня предполагается за счет информатизации правовой сферы, с одной стороны, и обеспечения законодательного регулирования правоотношений в сфере информатизации – с другой. Такая правовая информатизация должна осуществляться одновременно по следующим направлениям:

- информатизация правотворческой деятельности;
- информатизация правореализационной деятельности;
- правовое обеспечение процессов информатизации.

Основной задачей данной Концепции является создание государственной системы информационно-правового обслуживания, которая будет предоставлять информационно-правовые услуги федеральным, региональным органам власти, гражданам и организациям в любой точке России.

Для решения вышеуказанных проблем Указом Президента Российской Федерации от 4 августа 1995 г. была утверждена Президентская программа «Правовая информатизация органов государственной власти Российской Федерации» [3]. Важнейшим целевым показателем данной Программы явился процесс «создания оптимальных условий для наиболее полного удовлетворения информационно-правовых потребностей органов государственной власти Российской Федерации на основе внедрения прогрессивных, согласованных между собой информационных технологий».

К сожалению, в настоящее время пока не удалось создать полноценную инфраструктуру, обеспечивающую информационно-правовую поддержку органов не только исполнительной, но и законодательной власти РФ, особенно на уровне субъектов РФ.

Не следует забывать о том, что при создании нормативной правовой базы следует исходить из принципа иерархической соподчиненности нормативных правовых актов, так как при несоблюдении этого принципа нарушается единое правовое поле страны. Данное положение вызывает дополнительные трудности и затраты в процессе деятельности органов исполнительной власти, затрудняя их взаимодействие как на федеральном уровне, так и на уровне субъектов РФ.

В Федеральном законе «Об информации, информатизации и защите информации» [4] были введены такие категории, как:

- информационные ресурсы;
- пользование информационными ресурсами;
- информатизация, информационные системы, технология и средства их обеспечения;
- защита информации и прав субъектов в области информационных процессов и информатизации,

На собственников информационных ресурсов, созданных за счет бюджетных средств, в том числе бюджетных средств субъектов РФ, возложена обязанность учесть и защитить такие ресурсы. При этом государственные информационные ресурсы получили статус открытых и общедоступных. Федеральный закон определил режим персональных данных, а также перечень информации, на который запрещено распространять режим ограниченного доступа. Это:

- законодательные и другие нормативные акты, устанавливающие правовой статус органов... власти...;
- документы, содержащие информацию о чрезвычайных ситуациях, экологическую, метеорологическую, демографическую, санитарно-эпидемиологическую и другую информацию, необходимую для обеспечения безопасного функционирования населенных пунктов, производственных объектов, безопасности граждан и населения в целом;
- документы, содержащие информацию о деятельности органов... власти... за исключением сведений, отнесенных к государственной тайне;
- документы, накапливаемые в открытых фондах библиотек и архивов, информационных системах органов... власти....

В целях создания условий для эффективного участия России в международном информационном обмене в рамках единого мирового информационного пространства был принят Федеральный закон от 4 июля 1996 г. «Об участии в международном ин-

формационном обмене» [5]. Он определил правовой режим участия в таком обмене, контроль и ответственность при его осуществлении.

Утверждение Президентом РФ Концепции национальной безопасности [6] и развивающей ее положения Доктрины информационной безопасности РФ [7] определило особенность проблем правового обеспечения информационной безопасности. Доктрина служит основой для решения таких задач, как:

- информационное обеспечение государственной политики РФ;
- обеспечение безопасности ИТКС и систем – как уже развернутых, так и создаваемых на территории России;
- законодательного разграничения полномочий в области обеспечения ИБ РФ между федеральными органами государственной власти и органами государственной власти субъектов РФ;
- совершенствование нормативной правовой базы обеспечения ИБ РФ;
- координации деятельности федеральных ОГВ, ОГВ субъектов РФ, предприятий, учреждений и организаций в области обеспечения ИБ РФ независимо от их формы собственности;
- развитие и совершенствование государственной системы защиты информации и системы защиты государственной тайны, в рамках правовых методов обеспечения ИБ РФ;
- внесение изменений и дополнений в законодательство РФ, регулирующее отношения в области обеспечения ИБ, в целях создания и совершенствования многоуровневой системы обеспечения ИБ РФ, устранения внутренних противоречий в федеральном законодательстве, противоречий между федеральными законодательными актами и законодательными актами субъектов РФ;
- создание правовой базы для формирования в РФ региональных структур обеспечения ИБ, в рамках организационно-технических методов обеспечения ИБ РФ;
- усиление правоприменительной деятельности федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов РФ;
- разработка критериев и методов оценки эффективности (достаточности) систем и средств обеспечения ИБ РФ.
- координация деятельности федеральных ОГВ, ОГВ субъектов РФ по формированию и реализации единой государственной политики в области обеспечения ИБ РФ;
- разработка нормативной правовой базы, регулирующей отношения в информационной сфере.

Действующая государственная система защиты информации, государственной тайны, система лицензирования в области защиты информации и сертификации средств защиты информации должны положительно сказаться на решении проблем информационной безопасности России.

В системе Российского информационного законодательства также следует выделить:

- первую и вторую часть Гражданского кодекса Российской Федерации, а также Закон РФ «Об авторском праве и смежных правах»;
- нормы Кодекса РФ «Об административных правонарушениях» и Уголовного кодекса РФ.

Но в перечисленных нормативных актах не затрагиваются проблемы, которые проявились в практической деятельности субъектов информационных правоотношений, а именно:

- не рассмотрена проблема качества и достоверности информации в базах данных, включенных в состав государственных информационных ресурсов и используемых

в органах власти, а также мера ответственности за них различных участников информационных правоотношений;

- отсутствует методика проведения официальной регистрации, экспертизы, сертификации и оценки информационных ресурсов;
- не разработана методика применения норм административного кодекса за нарушения в области информации.
- не установлен адресат ответственности за оценку рисков, возникших при использовании сертифицированных средств защиты.
- не определен порядок формирования информационных ресурсов Российской Федерации;
- не установлена ответственность за неправомерное использование информационных ресурсов;
- не определены права и обязанности субъектов, осуществляющих сбор, обработку и предоставление доступа к информационным ресурсам;
- не проработан механизм страхования информационных рисков.

Для участия в международном информационном обмене и для вступления России в ВТО необходимо привести сертификационные нормативы, а также российские стандарты (создать технические регламенты) в соответствие с международными требованиями.

Процесс информатизации также не может обойтись без значительных инвестиций и создания со стороны государства благоприятных экономических, социальных и других условий для привлечения таких инвестиций из-за рубежа. Следует отметить, что данный процесс уже «набирает обороты» – уже создается необходимая нормативная правовая база, подписываются соответствующие соглашения для создания на территории России крупных ИТ зон со льготным режимом налогообложения.

Но не следует забывать, что процесс информатизации должен проходить с учетом нарастающих угроз в информационной сфере, что потребует значительных затрат для обеспечения информационной безопасности России.

Первым законом в Российской Федерации в сфере национальной безопасности был принят Закон РФ от 5 марта 1992 г. «О безопасности» [8], который закрепляет правовые основы обеспечения безопасности личности, общества и государства, определяет систему безопасности и ее функции, устанавливает порядок организации и финансирования органов обеспечения безопасности, а также контроля и надзора за законностью их деятельности. Вторым стал Закон РФ от 21 июля 1993 г. «О государственной тайне» [9]. Настоящий Закон регулирует отношения, возникающие в связи с отнесением сведений к государственной тайне, их засекречиванием или рассекречиванием и защитой в интересах обеспечения безопасности Российской Федерации. Некоторые его положения и механизмы настолько устарели, что это потребовало принятия в 2001 году Правительством РФ «Программы по защите государственной тайны» сроком на 5 лет и утверждения Инструкции по защите государственной тайны в органах государственной тайны, на предприятиях и учреждениях и организациях. Но на данный момент он все же требует доработки.

В заключение можно сказать, что существующая на данный период времени в России правовая система может рассматриваться как благоприятная, чего нельзя сказать о правовой системе на уровне субъектов РФ. Так, на начало 2006 года в Северо-Западном федеральном округе принято и вступило в силу 58 нормативных правовых актов в области информации, информатизации и защите информации (в Республики Карелия – 6, в Республики Коми – 4, в Архангельской области – 12, в Вологодской области – 2, в Калининградской области – 4, в Ленинградской области – 1, в Мурманской области – 3, Новгородской области – 3, в Псковской области – 17, в Санкт-Петербурге – 6), что недостаточно для обеспечения защиты информации.

Формирование нормативной правовой базы субъекта РФ в области защиты информации позволит решить целый ряд проблем, в частности, позволит определить:

- правовой статус работ по ЗИ с учетом требований федерального законодательства;
- порядок управления и распоряжения информационными ресурсами, как собственностью субъекта РФ;
- организационно-правовые, организационно-технические и экономические основы, регулирующие взаимоотношения субъектов права в области ЗИ субъекта РФ;
- порядок финансирования работ по формированию, использованию и защите информационных ресурсов;
- ответственность должностных лиц и порядок их взаимодействия при совершенствовании многоуровневой системы ЗИ, в том числе в процессе реформирования органов местного самоуправления, а также повысить эффективность защиты информации, создать систему, соответствующую задачам обеспечения национальной безопасности, безопасности и устойчивого развития регионов и адекватно реагирующую на угрозы безопасности информации в социально-экономической, административно-управленческой, правоохранительной и других сферах деятельности субъектов РФ, находящихся в пределах СЗФО.

Использование органами власти (в том числе и субъектов РФ) в своей повседневной деятельности различных средств информатизации приводит к наращиванию массивов информации, а также оказывает существенное влияние на технологические процессы обработки и защиты данных сведений. Применение этих средств значительно опережает процессы совершенствования и развития соответствующей нормативной и методической базы, поэтому задача формирования федерального законодательства и создание четко выстроенной и согласованной нормативной правовой базы субъектов РФ в области ЗИ с учетом складывающегося уровня информатизации становится более чем актуальной.

### Литература

1. Приоритетные проблемы научных исследований в области информационной безопасности Российской Федерации 7.01.2003. Одобрены секцией по информационной безопасности научного совета при Совете Безопасности Российской Федерации (протокол от 28 марта 2001 г. N 1).
2. Указ Президента РФ от 28 июня 1993 г. № 966 «О Концепции правовой информатизации России» (с изменениями от 19 ноября 2003 г., 22 марта 2005 г.).
3. Указ Президента РФ от 4 августа 1995 г. № 808 «О президентских программах по правовой информатизации».
4. Федеральный закон от 20 февраля 1995 г. № 24-ФЗ «Об информации, информатизации и защите информации» (с изменениями от 10 января 2003 г.).
5. Федеральный закон от 4 июля 1996 г. № 85-ФЗ «Об участии в международном информационном обмене» (с изменениями от 30 июня 2003 г., 29 июня 2004 г.).
6. Концепция национальной безопасности Российской Федерации (утв. Указом Президента РФ от 17 декабря 1997 г. № 1300), (в ред. Указа Президента РФ от 10 января 2000 г. № 24).
7. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации от 9 сентября 2000 г. № ПР-1895.
8. Закон РФ от 5 марта 1992 г. № 2446-1 «О безопасности» (с изменениями от 25 декабря 1992 г., 24 декабря 1993 г., 25 июля 2002 г.).
9. Закон РФ от 21 июля 1993 г. № 5485-1 «О государственной тайне» (с изменениями от 6 октября 1997 г., 30 июня, 11 ноября 2003 г., 29 июня, 22 августа 2004 г.).

# МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОБНАРУЖЕНИЯ УГРОЗ ПРИ ДОСТУПЕ К РЕСУРСАМ КЛАСТЕРНОЙ СИСТЕМЫ

А.В. Птицын

Рассматриваются типовые модели процесса обнаружения угроз при доступе к ресурсам кластерной системы, учитывающие различные комбинации комплексирования механизмов защиты, а также иллюстрируются принципы и приемы построения моделей функционирования систем защиты информации кластеров.

Постоянное развитие архитектуры кластерных систем и действующих стандартов в области защиты информации требует уточнения принципов построения систем защиты информации кластеров и выявления необходимого набора механизмов защиты информации в кластерных системах [1, 2]. Для выявления наиболее эффективных вариантов построения систем защиты информации кластеров необходимо построение математических моделей [3]. За концептуальную основу построения систем защиты информации кластеров следует принять представление защищаемых объектов в поле угроз как высокопроизводительных компьютеров, так и распределенных систем.

Рассмотрим базовый набор моделей функционирования систем защиты информации кластеров, учитывающих их технологические особенности.

Представленные модели описывают процесс функционирования системы защиты информации кластеров при обнаружении угроз на этапе доступа к ресурсам кластера. Предполагается, что доступ к системе уже получен, и теперь угроза направлена на ресурсы кластера, например, осуществляется попытка запуска посторонней задачи или чтения файла. Кластер здесь уже рассматривается как вычислительная система. К ресурсам кластера относится весь кластер целиком (может быть разрешен или запрещен запуск задач на кластере, администрирование кластера, его конфигурирование), узлы кластера (узел кластера представляет собой отдельный компьютер, к которому можно получить доступ, осуществить его администрирование и конфигурацию, запустить какие-либо программы), локальные ресурсы узлов кластера (файловые системы, программное и аппаратное обеспечение).

Наличие возможности доступа к тому или иному ресурсу кластера определяется, во-первых, наличием данного ресурса, во-вторых, принципом построения и организации работы кластера. Поэтому те или иные механизмы защиты могут просто не иметь смысла в определенных реализациях кластерных систем. Например, узлы кластера могут не иметь жестких дисков, может быть вообще не предусмотрен непосредственный доступ к узлу кластера и его локальным ресурсам, а только косвенный – через запуск задачи для решения на кластере и распределение вычислительной работы механизмами кластера.

При проверке прав доступа к тому или иному ресурсу могут применяться самые разные модели управления доступом: дискреционная модель, мандатная модель, модель управления доступом на основе ролевой политики, модели на основе списков санкционированных событий и другие. Все они имеют свою специфику, что может учитываться в процессе детализации базовых моделей. Отметим только, что определенные права доступа могут быть привязаны к самому объекту доступа, например, права на файл записаны в атрибутах самого файла, и для их проверки необходимо обратиться к самому объекту, т.е. к узлу, на котором расположен файл. Некоторые права и полномочия хранятся независимо от объектов доступа, например, информация о праве изменять системное время узла может храниться как локально, так и на другой машине, где указано, что данный пользователь является администратором системы.

Рассмотрим базовые модели функционирования системы защиты информации при попытке получения доступа к различным ресурсам. Приведем список введенных обозначений:

$f^H_{ЛПП}(k_{ЛПП}), k_{ЛПП} = 1, \dots, K^H_{ЛПП}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма контроля доступа с локальной проверкой прав в том случае, когда угроза не обнаружена,

$f_{ЛПП}(k_{ЛПП}), k_{ЛПП} = 1, \dots, K_{ЛПП}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма контроля доступа с локальной проверкой прав при обнаружении угрозы,

$P_{ЛПП}$  – вероятность обнаружения угрозы при контроле доступа с локальной проверкой прав,

$f_{CB}(k_{CB}), k_{CB} = 1, \dots, K_{CB}$  – плотность распределения дискретного времени, затраченного на сетевое взаимодействие (обращение к удаленной базе прав доступа),

$f^H_{рег}(k_{рег}), k_{рег} = 1, \dots, K^H_{рег}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма регистрации событий в том случае, когда угроза не обнаружена,

$f_{рег}(k_{рег}), k_{рег} = 1, \dots, K_{рег}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма регистрации событий при обнаружении угрозы,

$f^H_{СПП}(k_{СПП}), k_{СПП} = 1, \dots, K^H_{СПП}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма контроля доступа с проверкой прав по сети в том случае, когда угроза не обнаружена,

$f_{СПП}(k_{СПП}), k_{СПП} = 1, \dots, K_{СПП}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма контроля доступа с проверкой прав по сети при обнаружении угрозы,

$P_{СПП}$  – вероятность обнаружения угрозы при контроле доступа с проверкой прав по сети,

$f^H_{АВТ}(k_{АВТ}), k_{авт} = 1, \dots, K^H_{авт}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма авторизации в том случае, когда угроза не обнаружена,

$f_{АВТ}(k_{АВТ}), k_{авт} = 1, \dots, K_{авт}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма авторизации при обнаружении угрозы,

$P_{АВТ}$  – вероятность обнаружения угрозы при авторизации,

$f^H_{ПНР}(k_{ПНР}), k_{ПНР} = 1, \dots, K^H_{ПНР}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма проверки наличия ресурса в том случае, когда угроза не обнаружена,

$f_{ПНР}(k_{ПНР}), k_{ПНР} = 1, \dots, K_{ПНР}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма проверки наличия ресурса при обнаружении угрозы,

$P_{ПНР}$  – вероятность обнаружения угрозы при проверке наличия ресурса,

$f^H_{ШФ}(k_{ШФ}), k_{ШФ} = 1, \dots, K^H_{ШФ}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма шифрования в том случае, когда угроза не обнаружена,

$f_{ШФ}(k_{ШФ}), k_{ШФ} = 1, \dots, K_{ШФ}$  – плотность распределения дискретного времени выполнения механизма шифрования при обнаружении угрозы,

$P_{ШФ}$  – вероятность обнаружения угрозы при шифровании.

На рис. 1 представлена модель, отражающая простейший вариант работы системы защиты информации при доступе к ресурсу. В данном случае информация о правах доступа к объекту хранится локально, скорее всего, она привязана к объекту. Примером может служить доступ к файлу или некоторому устройству. Сначала осуществляется доступ к объекту по сети (если осуществляется доступ к локальному объекту, то данная процедура отсутствует). Далее происходит проверка прав доступа на основе информации, хранимой локально относительно объекта доступа. При любом исходе проверки результат учитывается системой регистрации событий.

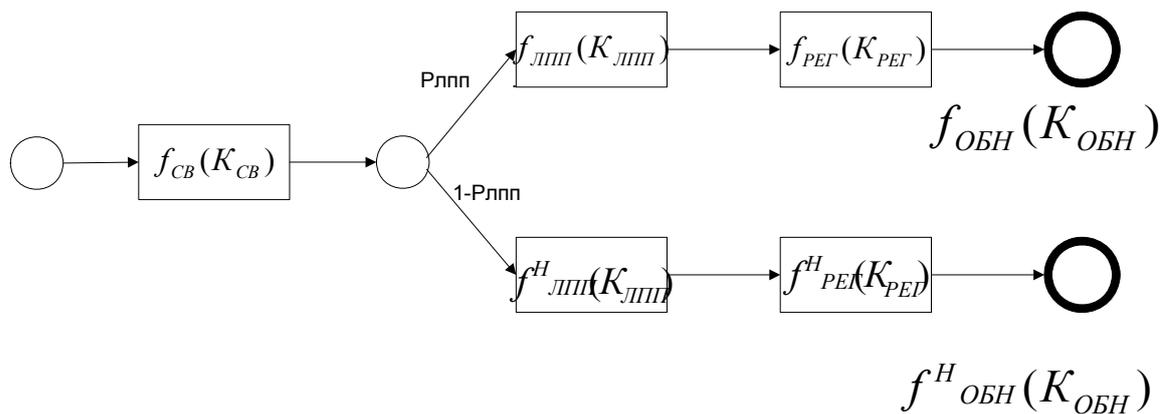


Рис. 1. Базовая модель процесса обнаружения угрозы при доступе к ресурсам кластерной системы

На рис. 2 представлена модель для варианта доступа к ресурсу, информация о правах на который может храниться как локально, так и на удаленной машине. При этом осуществляется доступ к ресурсу, проверяется локальная информация о правах данного пользователя на доступ к ресурсу. Уже на этом этапе в доступе пользователю может быть отказано без дальнейшей проверки – пользователю может быть указан явный запрет на использование данного ресурса. Если же пользователь сохраняет возможность доступа (хотя бы гипотетическую), осуществляется проверка информации о правах доступа, хранящихся на другой машине (например, сервере безопасности или контроллере домена), чтобы уточнить локальную информацию.

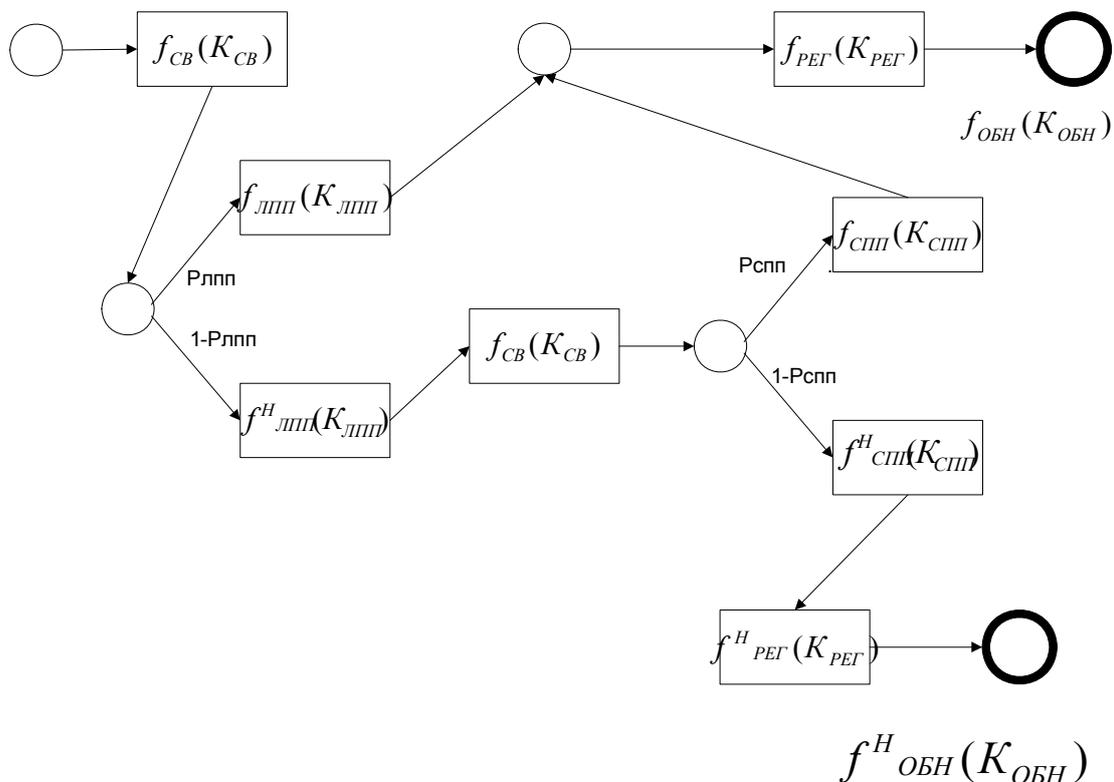


Рис. 2. Модель последовательного процесса обнаружения угрозы при доступе к ресурсам кластерной системы

На рис. 3 представлена такая же ситуация, но запрос к локальному и удаленному источникам информации о правах доступа осуществляется параллельно, что позволяет ускорить процесс предоставления доступа к объекту.

На рис. 4 изображена модель, содержащая следующие усложнения по сравнению с предыдущими – перед попыткой получения доступа к ресурсу пользователь проходит дополнительную авторизацию. Это может происходить, если пользователь сознательно воспользовался заниженными правами при доступе к системе, чтобы оградить себя от возможности случайной ошибки, или в случае принудительной вторичной авторизации при доступе к особенно важным ресурсам. Также здесь добавлен и механизм проверки наличия ресурса, т.е. его готовности. Важный ресурс может включать дополнительные ограничения на доступ к нему, например, запрещен одновременный доступ или запрещен доступ при определенной занятости ресурса.

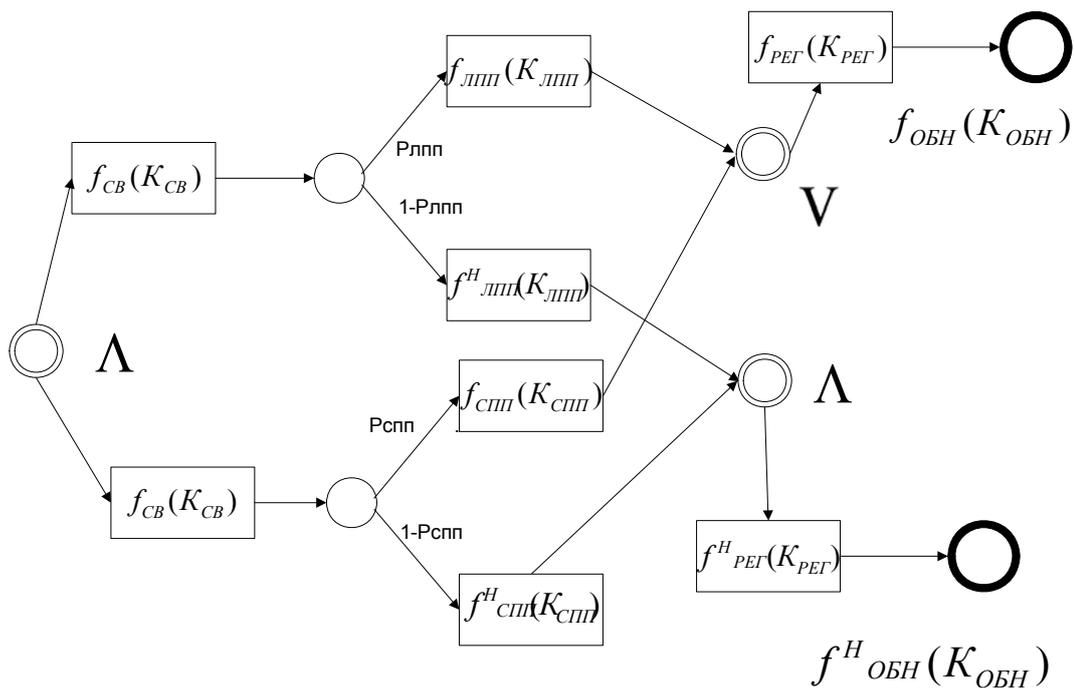


Рис. 3. Модель параллельного процесса обнаружения угрозы при доступе к ресурсам кластерной системы

На рис. 5 в модель добавлен новый механизм – механизм шифрования. Здесь подразумевается такой тип доступа к объекту, который предполагает обязательное шифрование информации. Примером может служить запрос на чтение файла с передачей его содержимого по сети – в этом случае для файлов, содержащих секретную информацию, осуществляется принудительная криптографическая обработка информации. Другим примером может служить запрос на чтение файла при использовании шифрующей файловой системы. В этом случае механизм шифрования будет осуществлять обратные действия – расшифровывать содержимое файла.

Представленные модели не отражают всех возможных комбинаций комплексирования механизмов защиты, но выделяют типовые случаи и иллюстрируют принципы и приемы построения моделей функционирования систем защиты информации кластеров.

Полученные модели позволяют анализировать характеристики систем защиты информации кластеров и улучшать их на любом этапе жизненного цикла.

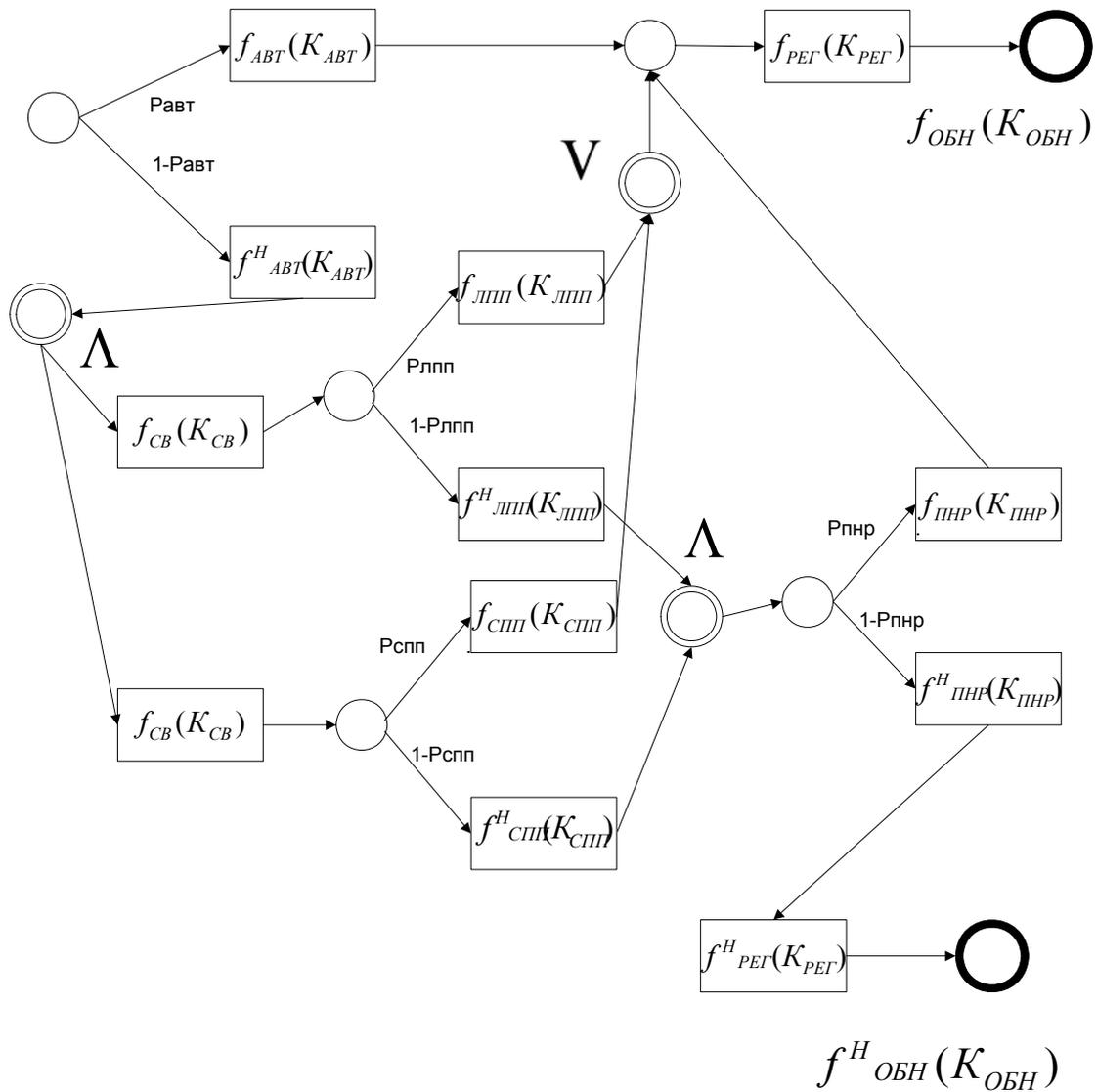


Рис. 4. Модель процесса обнаружения угрозы при доступе к ресурсам кластерной системы с авторизацией

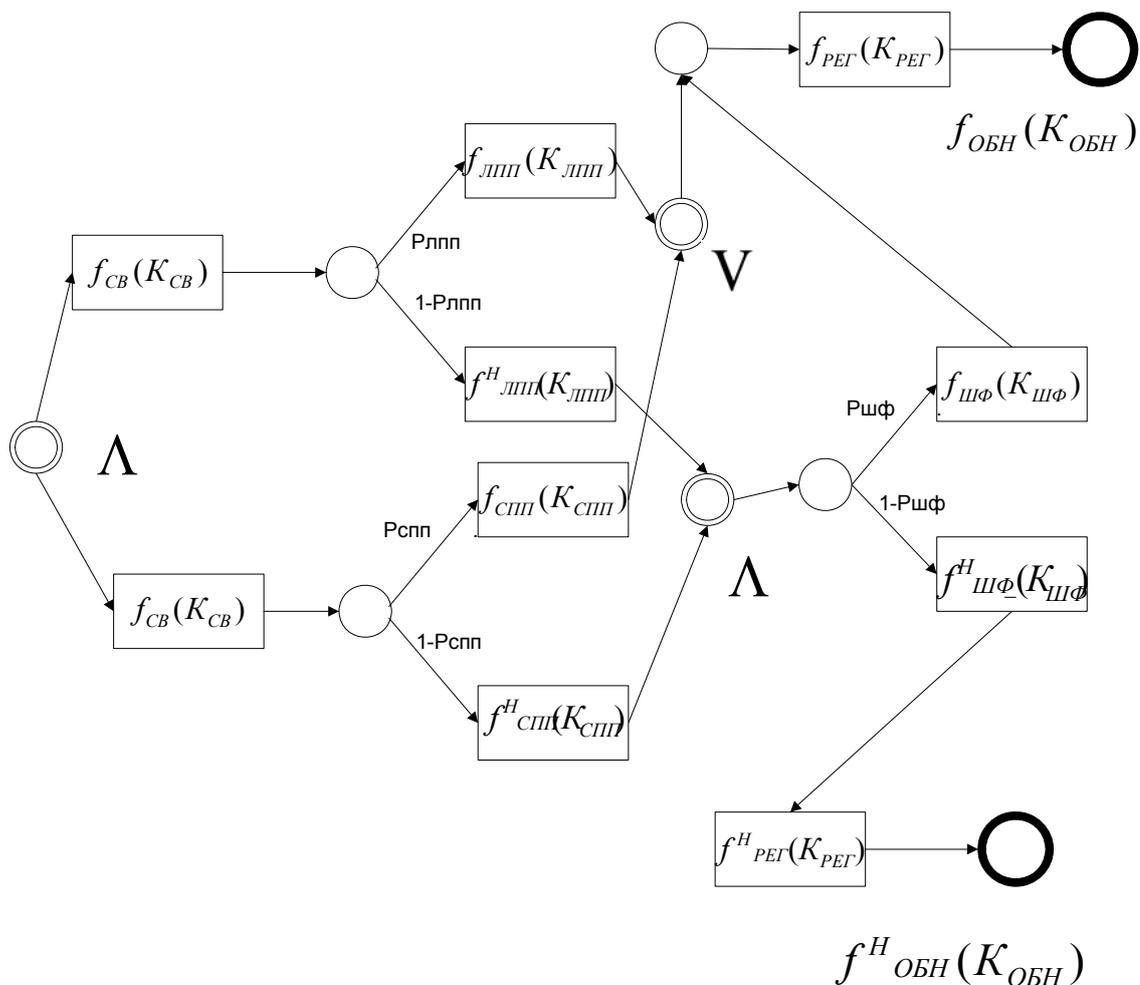


Рис. 5. Модель процесса обнаружения угрозы при доступе к ресурсам кластерной системы с шифрованием

### Литература

1. Корнеев В.В. Параллельные вычислительные системы. СПб: Нолидж, 1999. 320 с.
2. Домарев С. Безопасность информационных технологий. СПб: Диасофт, 2002. 240 с.
3. Головкин Б.А. Расчет характеристик и планирование параллельных вычислительных процессов. М.: Радио и связь, 1983. 272 с.

# МЕТОД УЧЕТА РЕАЛИЗУЕМОСТИ ПУТЕЙ УПРАВЛЯЮЩЕГО ГРАФА ПРОГРАММЫ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИХ БАЗИСНОГО НАБОРА

Ю.А. Яковлев, Т.А. Павловская

Рассмотрены достоинства и недостатки существующих алгоритмов построения базисного набора путей. Предложен метод адаптации алгоритма Мак-Кейба для исключения путей, невозможность которых может быть заранее определена. Приведено формализованное пошаговое описание исходного и усовершенствованного алгоритмов и результаты их работы.

## Введение

Структурное тестирование предполагает предварительное формирование набора требуемых элементов, подлежащих покрытию. В частности, такими элементами могут быть пути в управляющем графе программы. Набор путей, в котором каждый очередной путь покрывает хотя бы одну дугу, непокрытую предшествующими путями, называется базисным. Число путей в базисном наборе равно цикломатической сложности управляющего графа (УГ) [1]:  $V(G) = e - n + 2 = p + 1$  ( $e$ -число дуг,  $n$ -число узлов,  $p$  – число узлов ветвления в графе). Базисный набор позволяет независимо друг от друга протестировать каждое из ветвлений; следовательно, критерий покрытия базисного набора включает в себя критерии  $S_1$  (покрытие ветвей) и  $S_0$  (покрытие операторов), являясь при этом более строгим.

Существует несколько алгоритмов получения базисного набора [1–3]. Сравнительный анализ показал, что алгоритмы, основанные на методах поиска «в ширину» [3] и «в глубину» [2] в графе, являются более простыми в реализации, чем метод «базового пути» [1]. Однако, они приводят, например, к формированию набора путей, в которых циклы оказываются пройденными только 0 или 1 раз. Реальное число итераций циклов в программе может быть в ряде случаев только ненулевым либо лежащим в некотором диапазоне. Лишь метод «базового пути», предложенный в [1], предоставляет обеспечить гибкость в выборе путей при построении набора. Однако эта гибкость требует принятия решений, для которых желательно использовать данные о реализуемости тех или иных путей.

Невозможным (нереализуемым) путём называется путь, который не будет пройден ни при каких входных данных. В общем случае задача определения реализуемости пути не имеет решения. Однако весьма актуальным является использование доступной информации в частных случаях. Важность исключения неререализуемых путей состоит в том, чтобы избежать вычислительных ресурсов при поиске входных данных для таких путей.

## Теоретическая часть

Алгоритм, предложенный в работе Мак-Кейба [1], описывается следующим образом.

Выбрать базовый путь (любой в УГ), а затем формировать каждый последующий путь набора за счет отклонения от базового в каждом из его ветвлений. Отклонившийся путь должен в как можно большем числе ветвлений совпадать с исходным, т.е., как только он «объединяется» с исходным после отклонения, он должен «следовать» исходному до конечной вершины УГ. При этом ветви, не принадлежащие исходному пути, могут выбираться произвольно.

Для не совпадающего с базовым путем участка каждого полученного таким образом пути следует формировать новые пути за счет отклонений в ветвлениях этого участка. Это происходит по аналогии с отклонениями от базового пути. Таким образом, результирую-

щий набор будет содержать  $V(G)=p+1$  элементов: базовый путь и  $p$  путей, полученных в результате отклонений в  $p$  узлах ветвления.

Будем учитывать следующую информацию о реализуемости путей:

- совпадает ли число итераций цикла в некотором пути с возможным значением (или диапазоном значений);
- не содержит ли путь несовместных предикатов относительно входных переменных.

Пусть имеется информация о допустимых значениях итераций циклов в форме, представленной в табл. 1.

№ цикла	Идентификатор вершины цикла	Минимум итераций	Максимум итераций
1	$K_1$	$N_{1 \min}$	$N_{1 \max}$
...	...	...	...

Табл. 1 Информация о числе итераций циклов.

Пример циклов и их вершин-«заголовков» в составе УГ представлен на рис. 1.

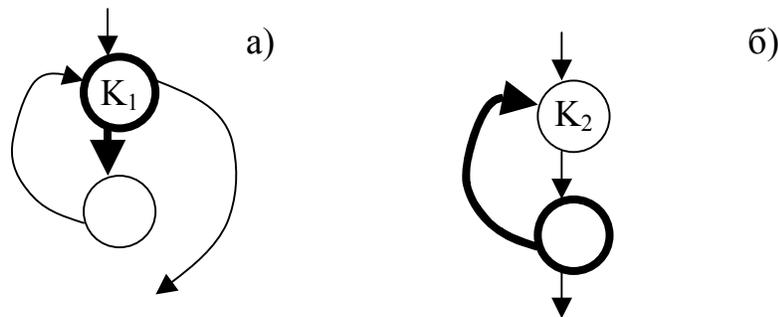


Рис. 1. Два фрагмента УГ, соответствующих: а) циклу с предусловием и вершиной  $K_1$  б) циклу с постусловием и вершиной  $K_2$ . Выделены дуги, переход по которым приводит к увеличению числа итераций цикла на 1

Пусть также имеется функция, которая для последовательности узлов, составляющих путь или начальный фрагмент пути, принимает одно из двух значений:

1. путь нереализуем;
2. реализуемость пути неизвестна.

Предлагается для вычисления этой функции анализировать предикаты на заданном пути. Если обнаружены предикаты, которые включают в свой состав только входные переменные, не измененные с начала вычислений в программе, и константы, а условия предикатов несовместны, то это означает, что путь нереализуем. Такой путь исключается из набора, полученного при помощи предложенного алгоритма.

В примере программы, приведенной в табл. 2, нереализуемыми являются следующие пути:

- 1-2-3-4-5-6-7-8 (несовместны предикаты:  $(x < 0)$ ,  $(x \geq 0)$  and  $(x < 2)$ ,  $(x \geq 2)$ )
- 1-2-3-4-6-7-8 (несовместны предикаты:  $(x < 0)$ ,  $(x \geq 2)$ )
- 1-2-3-4-5-6-8 (несовместны предикаты:  $(x < 0)$ ,  $(x \geq 0)$  and  $(x < 2)$ )
- 1-2-4-5-6-7-8 (несовместны предикаты:  $(x \geq 0)$  and  $(x < 2)$ ,  $(x \geq 2)$ )

Фрагмент программы	Фрагмент УГ
<pre> read(x); if (x&lt;0) then   result := 1; if (x&gt;=0) and (x&lt;2) then   result := 2; if (x&gt;=2) then   result := 3; write(result); </pre>	<pre> graph TD   1((1)) --&gt; 2((2))   2 --&gt; 3((3))   2 --&gt; 4((4))   3 --&gt; 4   4 --&gt; 5((5))   4 --&gt; 6((6))   5 --&gt; 6   6 --&gt; 7((7))   6 --&gt; 8((8))   7 --&gt; 8 </pre>

Табл. 2. Пример программы и ее УГ с нереализуемыми путями

Исходный вариант метода нахождения базисного набора включает в себя следующие шаги.

Шаг 1. Выбрать базовый путь  $\pi_0$  и положить начальный узел ветвления ( $n_{\text{нач}}$ ) равным первому узлу ветвления в  $\pi_0$ , а конечный узел ветвления ( $n_{\text{кон}}$ ) – последнему узлу ветвления в  $\pi_0$ . Положить  $\pi = \pi_0$ .

Шаг 2. Пока все узлы ветвления в пути  $\pi$  между  $n_{\text{нач}}$  и  $n_{\text{кон}}$  не рассмотрены, перейти к очередному  $n_i$ . Если  $n_i$  рассматривается на этом пути первый раз (т.е.  $n_i \neq n_j$  для  $\forall j < i$ ), перейти к шагу 3. Иначе повторить шаг 2.

Шаг 3. Среди всех путей ( $n_0, \dots, n_i, n_k, \dots$ ), где ветвь  $(n_i, n_m) \in \pi$ , а ветвь  $(n_i, n_k) \notin \pi$ , выбрать такой  $\pi'$ , чтобы количество узлов между узлом отклонения  $\pi'$  от  $\pi$  и узлом слияния  $\pi'$  с  $\pi$  было минимально.

Шаг 4. Добавить в набор полученный путь  $\pi'$ .

Шаг 5. Положить  $\pi = \pi'$ ,  $n_{\text{нач}} =$  (первый узел ветвления в  $\pi'$  после  $n_i$ ),  $n_{\text{кон}} =$  (последний узел ветвления в  $\pi'$  перед узлом слияния). Перейти к шагу 2.

Модифицируем шаг 3 алгоритма.

Шаг 3. Выбираем такой путь  $\pi'$ , чтобы:

1. количество узлов между узлом отклонения от  $\pi$  и узлом слияния с  $\pi$  было минимально;
2. количество итераций циклов, входящих в  $\pi'$ , было допустимым.

Для этого, если алгоритм предполагает прохождение ветви  $e_i$  и она является определяющей для числа итераций цикла (рис. 1), то анализируется уже достигнутое на этом пути число итераций. Если при прохождении ветви новое число итераций будет лежать в допустимом диапазоне, то проходится ветвь  $e_i$ , иначе – проходится альтернативная ей ветвь.

### Реализация

Описанный метод реализован в рамках системы автоматического построения тестов для программ на языке Паскаль. Рассмотрим программу, управляющий граф которой представлен на рис. 2. Каждый узел помечен соответствующим идентификатором. Назна-

ченные идентификаторы определяются особенностями алгоритма построения УГ, начальный и конечный узлы выделены штриховкой, все узлы ветвления – цветом.

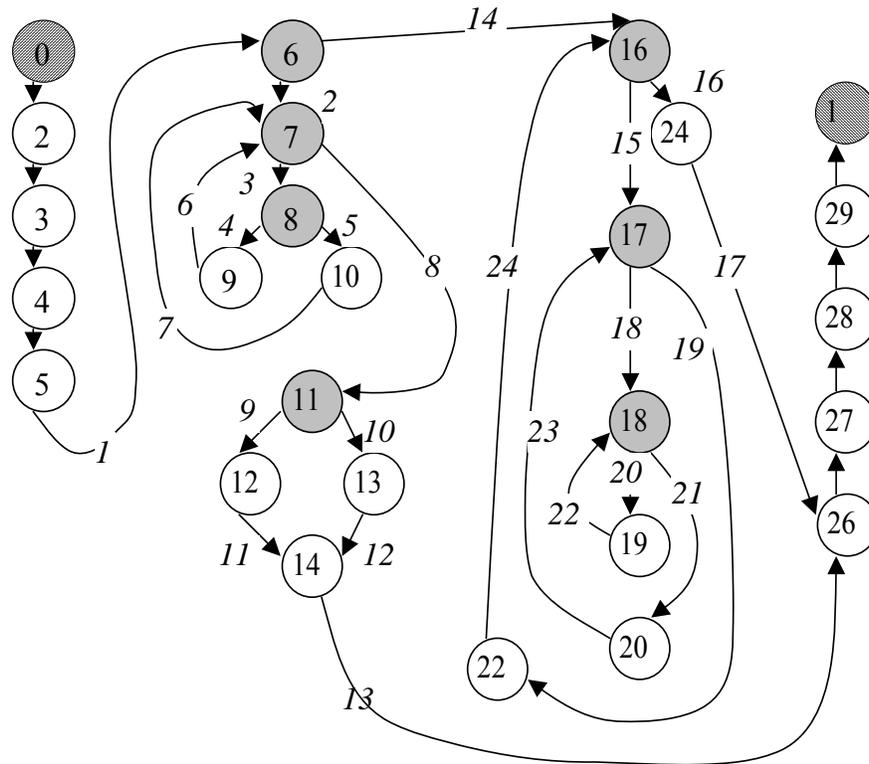


Рис. 2 УГ некоторой программы

Данный УГ характеризуется цикломатической сложностью  $V(G)=p+1 = 7+1=8$ , содержит 4 цикла, из которых 3 вложены друг в друга.

Пусть базовым путем будет путь:

$\pi_0 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 7, 8, 10, 7, 8, 9, 7, 11, 12, 14, 26, 27, 28, 29, 1)$ .

Этот путь идет через true-ветвь узла 6, затем проходит цикл с вершиной 7 три раза.

Исходный алгоритм генерирует следующий набор путей:

$\pi_1 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 24, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_0$  в (6)]

$\pi_2 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 14, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_0$  в (7)]

$\pi_3 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 7, 8, 10, 7, 8, 9, 7, 11, 12, 14, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_0$  в (8)]

$\pi_4 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 7, 8, 10, 7, 8, 9, 7, 11, 13, 14, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_0$  в (11)]

$\pi_5 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17, 22, 16, 24, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_1$  в (16)]

$\pi_6 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17, 18, 20, 17, 22, 16, 24, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_5$  в (17)]

$\pi_7 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17, 18, 19, 18, 20, 17, 22, 16, 24, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_6$  в (18)]

Пусть известно, что каждый цикл в программе может быть пройден хотя бы один раз, т.е. диапазон значений итераций определяется как  $N_i > 0$  ( $i=1..4$ ). Обозначим число итераций циклов, пройденных путем, как вектор  $L = \{N_1, N_2, N_3, N_4\}$ , где  $N_i = C_i$  или  $N_i = \{C_{i1}, C_{i2},$

...},  $C_1 \in \mathcal{N} \cup \{0\} \cup \{x\}$ ,  $x$  означает, что вершина-заголовок цикла не лежит на пути,  $\mathcal{N}$  - множество натуральных чисел. Тогда модифицированный вариант алгоритма генерирует следующий набор путей

$\pi_1 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17, 18, 19, 18, 20, 17, 22, 16, 24, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_0$  в (6),  $L = \{x, 1, 1, 1\}$ ]

$\pi_2 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 7, 11, 12, 14, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_0$  в (7),  $L = \{1, x, x, x\}$ ]

$\pi_3 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 7, 8, 10, 7, 8, 9, 7, 11, 12, 14, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_0$  в (8),  $L = \{3, x, x, x\}$ ]

$\pi_4 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 7, 8, 10, 7, 8, 9, 7, 11, 13, 14, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_0$  в (11)]

$\pi_5 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17, 18, 19, 18, 20, 17, 22, 16, 17, 18, 19, 18, 20, 17, 22, 16, 24, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_1$  в (16)  $L = \{x, 2, \{1, 1\}, \{1, 1\}\}$ ]

$\pi_6 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17, 18, 19, 18, 20, 17, 18, 19, 18, 20, 17, 22, 16, 24, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_1$  в (17)  $L = \{x, 1, 2, \{1, 1\}\}$ ]

$\pi_7 = (0, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17, 18, 19, 18, 20, 17, 22, 16, 24, 26, 27, 28, 29, 1)$  [отклонение от  $\pi_1$  в (18)  $L = \{x, 1, 1, 2\}$ ]

### Заключение

Предложен метод учета количества итераций циклов при построении базисного набора путей. Описанный подход позволяет получить базисный набор путей в случае, если допустимое количество задано в виде диапазонов, а не единственных фиксированных значений. В любом случае, полученный набор путей удовлетворяет критерию покрытия ветвей.

### Литература

1. McCabe T., Watson A. Structured Testing: A Testing Methodology Using the Cyclomatic Complexity Metric//National Institute of Standards and Technology(NIST), 1996
2. Poole J. A Method to Determine a Basis Set of Paths to Perform Program Testing//National Institute of Standards and Technology(NIST), 1995
3. Gupta N., Mathur A., Soffa M. UNA Based Iterative Test Data Generation and its Evaluation //14th IEEE International Conference on Automated Software Engineering(ASE'99), pp 224-232, Cocoa Beach, Florida, October 1999.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТЫХ ЛОГИЧЕСКИХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОГРАММ

О.Ф. Немолочнов, А.Г. Зыков, В.И. Поляков, К.В. Петров

В статье в качестве метода анализа контролирующих свойств испытательных последовательностей, используемых при тестировании программ, предлагается метод моделирования простых логических неисправностей; описываются возможности метода, базовые принципы его применения, и, кроме того, приводится пример его использования.

## Введение

Тестирование и верификация программного продукта могут быть сведены к тестированию вычислительного процесса, порождаемого программой при интерпретации ее команд вычислительной машиной. При этом необходимо проводить анализ контролирующих свойств тестовых последовательностей. С этой целью в рассмотрение вводится понятие логической неисправности.

Под логической неисправностью будем понимать искажение логики работы программы. В выходных данных программы логическая неисправность будет проявляться в виде ошибки [1].

Различать и классифицировать логические неисправности можно по совокупности разнообразных признаков; местоположение неисправности в программе является наиболее очевидным из таких признаков. Неисправности могут присутствовать в различных сегментах программы (например, в сегменте данных или кода). В свою очередь, неисправность одной команды в сегменте кода может означать искажение одного из полей команды – например, кода операции, адреса перехода или операнда и т. п. – или искажение сразу нескольких полей.

Кроме того, основанием для классификации может служить факт порождения логической неисправностью новых дуг и вершин на графе вычислительного процесса. В зависимости от этого будем делить логические неисправности на простые и сложные. Под простой неисправностью будем понимать такую неисправность, которая не порождает новых дуг и вершин на графе вычислительного процесса. Соответственно, к сложным будем относить все неисправности, порождающие новые дуги и вершины [2].

Под одиночной неисправностью в сегменте кода будем понимать искажение одной команды, при этом неправильными могут быть любые поля команды в любых их сочетаниях. Множественной неисправностью будем называть любое количество одиночных неисправностей вне зависимости от того, усиливают ли они действие друг друга или ослабляют.

## Моделирование логических неисправностей

Для анализа качества тестовых последовательностей используют специально генерируемые логические неисправности, которые при этом могут быть самыми разными. Такой обобщенный подход получил название мутационного тестирования [3]. В данной статье мы рассмотрим более специализированный метод, моделирующий одиночные логические неисправности особого вида. Проявление логических неисправностей при этом фиксируется путем сравнения результатов выполнения программы без неисправностей (эталонные результаты) с результатами работы программы с внесенной в нее неисправностью [4].

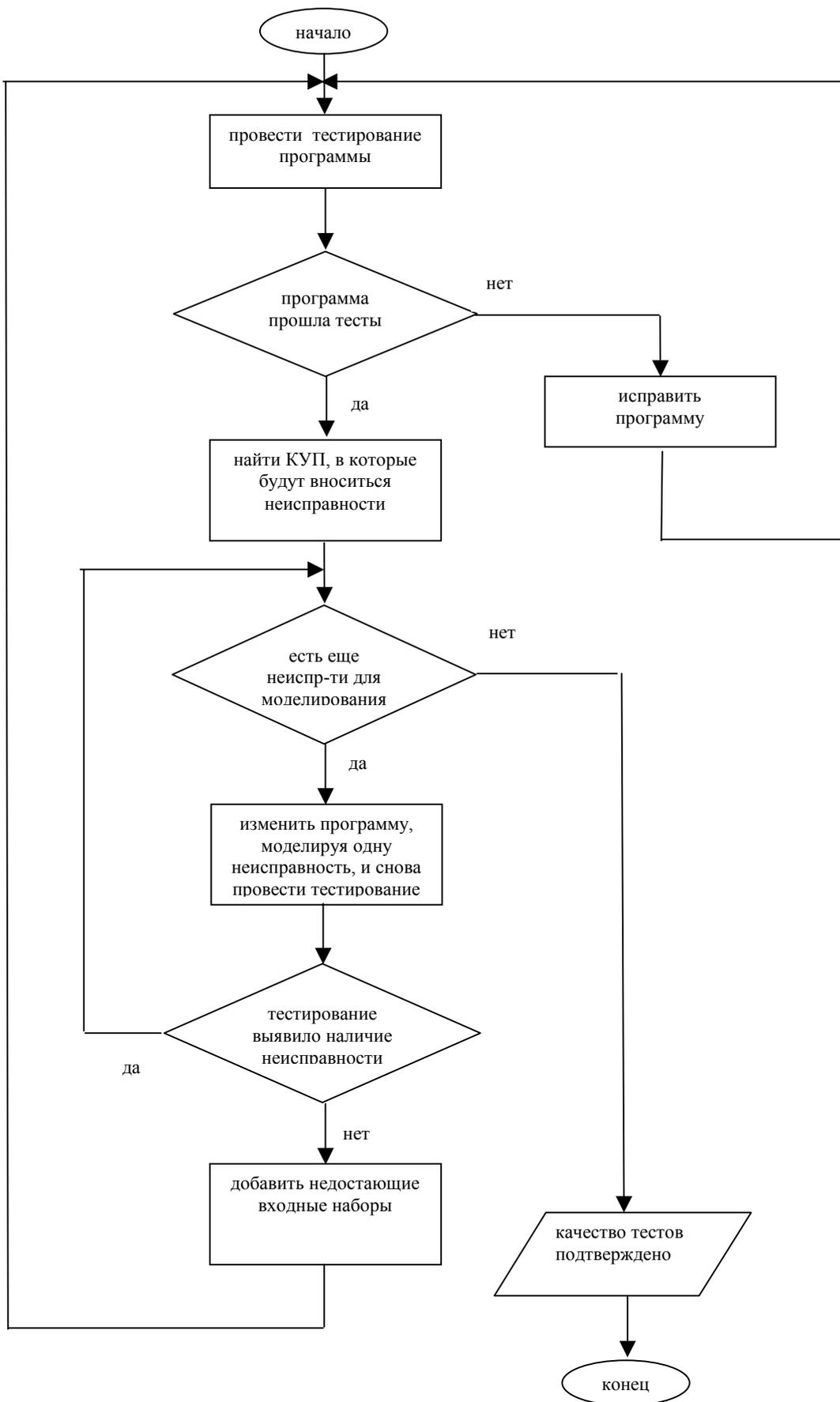


Рис. 1. Обобщенный алгоритм моделирования логических неисправностей

В соответствии с описываемым методом, неисправности должны моделироваться по очереди в каждой из команд условного перехода, содержащихся в тестируемой программе. Внесение неисправностей будет, как правило, сводиться к замене таких команд на команды безусловной передачи управления. В общем случае каждой команде условного перехода (КУП), содержащейся в тестируемой программе, могут соответствовать две моделируемые неисправности:

- неисправность, при которой всегда происходит переход по указанному в команде адресу;
- неисправность, при которой перехода по указанному адресу никогда не происходит, и всегда выполняется команда, располагающаяся в памяти непосредственно за КУП.

Очевидно, что в первом случае условие перехода всегда становится истинным, во втором – ложным. Поэтому будем называть такие неисправности «константная 1» и «константный 0». Введем следующие математические обозначения: при моделировании неисправности «константная 1» в условии *Cond* будем писать  $Cond \equiv 1$  или  $Cond \equiv true$ ; аналогично при моделировании неисправности «константный 0» будем писать  $Cond \equiv 0$  или  $Cond \equiv false$ .

Поясним смысл такого моделирования. Замена условного перехода безусловным приводит к исчезновению одной из дуг, выходящей из соответствующей условной вершины на графе, задающем вычислительный процесс тестируемой программы. Отметим, что новая дуга при этом не появляется (за исключением одного особого случая), и потому моделируемые неисправности относятся к простым.

Если тестовая последовательность, качество которой мы оцениваем, не выявит исчезновение дуги, т.е. среди выходных данных не будет ошибочных, то ее следует дополнить набором, подобранным специально с целью обнаружения внесенной неисправности. Можно утверждать, что полнота контроля всех неисправностей такого вида будет определять полноту контроля всех разветвлений вычислительного процесса программы [2]. Таким образом, речь идет об одном из вариантов вычисления покрытия ветвей на уровне вычислительного процесса.

Исходя из сказанного, алгоритм оценки качества тестовых наборов путем моделирования логических неисправностей можно обобщенно изобразить так, как показано на рис.1.

### **Пример использования логических неисправностей при тестировании программ**

Для примера рассмотрим простую программу. Пусть входными данными для этой программы будут коэффициенты квадратного уравнения, а результатом работы будет 0 или 1 в зависимости от того, существуют ли у данного уравнения вещественные корни (табл. 1). Случай, когда все три коэффициента равны 0, не рассматриваем как тривиальный

Коэффициенты квадратного уравнения	Количество и вид корней	Результат работы программы
$a = 0$ and $b = 0$	0	0
$a = 0$ and $b \neq 0$	1 вещественный	1
$a \neq 0$ and $D \geq 0$	2 вещественных	1
$a \neq 0$ and $D < 0$	2 комплексных	0

Таблица 1. Результаты работы исходной программы

Для наглядности не будем изучать машинный код, а вместо этого сразу построим граф вычислительного процесса, порождаемого рассматриваемой программой (рис.2).

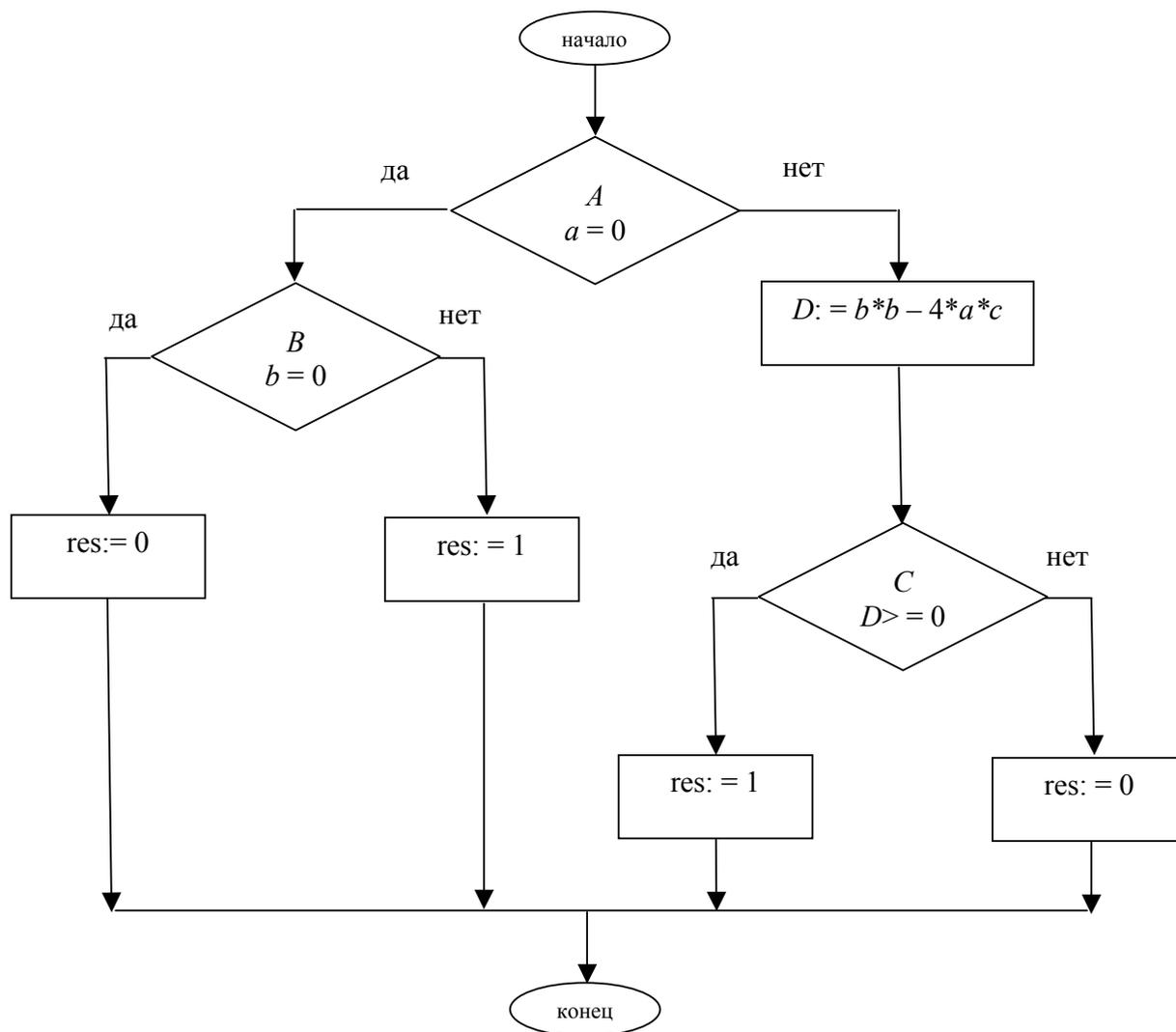


Рис. 2. Граф вычислительного процесса исходной программы.

Теперь предположим, что для тестирования этой программы предложено два набора входных данных:  $a = 0, b = 0, c = 1$  и  $a = 1, b = 1, c = 0$ . Если мы запустим программу с каждым из этих наборов, мы получим правильные результаты (табл. 2).

Входные данные			Результат res
$a$	$b$	$c$	
0	0	1	0
1	1	0	1

Таблица 2. Результаты тестирования исходной программы

Таким образом, программа успешно прошла предложенные тесты. Теперь необходимо ответить на вопрос, насколько качественным получилось это тестирование. Мы видим, что по разу были получены оба возможных ответа – 0 и 1, но для структурного тестирования такой критерий нельзя признать удовлетворительным. Для более точной

оценки качества тестовых наборов используем метод моделирования логических неисправностей.

Сначала определяем, что программа содержит три условные вершины. Это значит, что для исчерпывающей проверки тестовых наборов нам необходимо последовательно промоделировать  $3 \cdot 2 = 6$  логических неисправностей. При внесении неисправностей получим следующие результаты (табл.3. Жирным шрифтом выделены результаты, отличающиеся от эталонных, т. е. от полученных без неисправностей).

Моделируемые неисправности	Входные наборы	
	(0, 0, 1)	(1, 1, 0)
Без неисправностей	res = 0	res = 1
$A \equiv true$	res = 0	res = 1
$A \equiv false$	<b>res = 1</b>	res = 1
$B \equiv true$	res = 0	res = 1
$B \equiv false$	<b>res = 1</b>	res = 1
$C \equiv true$	res = 0	res = 1
$C \equiv false$	res = 0	<b>res = 0</b>

Таблица 3. Результаты тестирования программы с внесенными неисправностями

Анализируя полученные данные, устанавливаем, что первый тестовый набор обнаруживает две неисправности, в то время как второй только одну; всего, таким образом, были обнаружены три различные неисправности, и внесение еще трех никак не отразилось на результатах работы программы.

Отдельно отметим интересный момент. Неисправность  $A \equiv true$  должна с неизбежностью приводить к неправильной работе программы в случае входного набора (1, 1, 0). Действительно, в этом наборе  $a = 1 \neq 0 \rightarrow A = false$ . Однако результат работы программы  $res = 1$  при этом оказывается корректным. Рассматривая граф, можно определить причину этого: оказывается, что имеет место совпадение. Неисправность изменяет путь через программу, но на новом, неправильном пути происходит присвоение выходной переменной  $res$  того же значения, которое было бы присвоено в исходной программе. Такую ситуацию будем называть компенсацией неисправности. Компенсации уменьшают качество тестовых наборов, так как при их возникновении сокращается количество обнаруживаемых этими наборами неисправностей.

Все вышеизложенное означает, что для улучшения качества тестов необходимо к уже имеющимся двум добавить дополнительные наборы, которые могли бы выявить неисправности  $A \equiv true$ ,  $B \equiv true$  и  $C \equiv true$ . Поиск таких дополнительных наборов – это отдельная задача. Для такой простой программы, впрочем, особых трудностей здесь не возникает. Введем еще два тестовых набора:  $a = 1, b = 1, c = 1$  и  $a = 0, b = 1, c = 1$ . После моделирования оставшихся неисправностей получим следующие результаты (табл.4).

Моделируемые неисправности	Входные наборы	
	(1, 1, 1)	(0, 1, 1)
Без неисправностей	res = 0	res = 1
$A \equiv true$	<b>res = 1</b>	res = 1
$B \equiv true$	res = 0	<b>res = 0</b>
$C \equiv true$	<b>res = 1</b>	res = 1

Таблица 4. Результаты тестирования программы с использованием дополнительных наборов

Теперь мы можем утверждать, что четыре рассмотренных тестовых набора в совокупности обеспечивают полноту контроля моделируемых логических неисправностей. Выше мы отметили, что при выполнении данного условия мы будем считать качество тестирования приемлемым, и обосновали причину этого. Таким образом, используя описываемый в статье метод, получаем решение поставленной задачи.

Конечно, приведенный пример является чрезвычайно простым, но это и делает его наглядным. В более сложных программах при внесении неисправностей появляются новые проблемы, описанию и решению которых будут посвящены следующие статьи.

### **Заключение**

В статье в качестве метода анализа контролирующих свойств испытательных последовательностей, используемых при тестировании программ, был рассмотрен метод моделирования простых логических неисправностей. Изучение базовых принципов метода показало, что его применение действительно способно повысить качество тестирования.

### **Литература**

1. Немолочнов О.Ф. Методы технической диагностики. ЛИТМО, 1977.
2. Немолочнов О.Ф., Зыков А.Г., Поляков В.И., Кулагин В.С., Петров К.В. Логические неисправности вычислительных процессов программ. // Труды 9-й научно-технической конференции «Теория и технология программирования и защиты информации. Применение вычислительной техники». СПбГУ ИТМО, 2005.С.2-3.
3. A. Jefferson Offutt. A practical system for mutation testing: help for the common programmer. <http://www.ise.gmu.edu/~ofut/rsrch/abstracts/practical.html>
4. Немолочнов О.Ф., Зыков А.Г., Лаздин А.В., Поляков В.И. Верификация в исследовательских, учебных и промышленных системах // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Выпуск 11. Актуальные проблемы анализа и синтеза сложных технических систем / Под ред. В.О.Никифорова. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2003. С.146–151.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СИСТЕМУ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Ю.Н. Виноградов, А.В. Григорьев, А.В. Демин, А.В. Сорокин

В статье рассмотрен алгоритм моделирования воздействия на систему внешних возмущений в предположении измеримости параметрической ошибки рассогласования между параметрами возмущения и отработки моделью этого возмущения.

## Введение

Современные проблемы управления часто связаны с динамическими системами, характеризующимися быстрым изменением параметров и необходимостью использования методов адаптации при наличии внешних возмущений. Среди них, кроме наиболее распространенных проблем управления, наблюдения и идентификации с эталонной моделью [1–3], можно указать нестационарные задачи слежения и программного управления [4], согласования выходных переменных многоканальных систем [5], а также целый ряд нелинейных задач [6, 9], которые приводят к получению модели ошибок с быстрыми вариациями параметров. Большинство стандартных методов моделирования при адаптивном управлении ориентировано на квазистационарные модели [1, 2, 10, 11]. Быстрые изменения параметров системы при наличии внешних возмущений возможно учесть с помощью законов адаптации в соответствии с известной концепцией внутренней модели [4, 6]. Основными препятствиями для парирования более сложных моделей возмущений служит значительное усложнение схемы парирования и проблема достижения устойчивости процесса управления. В работе [3] предложен алгоритм парирования, позволяющий компенсировать линейные изменения параметров системы за счет включения в ее состав простейшей настраиваемой модели параметрического дрейфа [12, 13].

## Моделирование воздействия внешних возмущений

Для наглядности изложения ограничимся анализом простейшего случая нестационарной системы с одним неизвестным параметром. Будем полагать, что задача моделирования воздействия внешних возмущений сведена к анализу модели ошибок вида [1, 2, 3, 7]:

$$\dot{e} = Ae + b(u + z\theta), \quad (1)$$

где  $e \in R^n$  – вектор ошибок,  $u$  – скалярное управляющее воздействие,  $z = z(t)$  – известная функция возбуждения,  $\theta = \theta(t)$  – неизвестный параметр, динамика которого описывается моделью параметрического дрейфа:

$$\dot{\xi} = \Gamma\xi, \quad (2)$$

$$\theta = h^T\xi, \quad (3)$$

$\xi \in R^p$  – вектор состояния,  $A, \Gamma, b, h^T$  – матрицы соответствующих размерностей. Задача моделирования ошибок (1) обычно сводится к синтезу процесса моделирования относительно нулевого решения.

Следуя традиционному подходу, выберем алгоритм комбинированного моделирования вида

$$u = -z\hat{\theta} - v, \quad (4)$$

где  $\hat{\theta} = \hat{\theta}(t)$  – текущая оценка переменного параметра  $\theta = \theta(t)$ ,  $v$  – выход модели ошибки, вычисляемый по формуле

$$v = k^T e, \quad (5)$$

$k^T$  – матрица-строка коэффициентов обратных связей. Тогда модель (1) принимает вид

$$\dot{\tilde{\theta}} = A_c e + bz\tilde{\theta}, \quad (6)$$

где  $A_c = A - bk^T$ , а  $\tilde{\theta} = \theta - \hat{\theta}$  – ошибка настройки параметра модели.

При условии управляемости модели ошибки (1) соответствующий выбор матрицы  $k^T$  обеспечивает асимптотическую устойчивость и желаемые динамические свойства системы (6) для нулевой параметрической ошибки  $\tilde{\theta} = 0$ . С помощью известных методов можно найти обратные связи, при которых  $\text{Re}\lambda[A_c] \leq -\lambda, i = \overline{1, n}$ , т.е. достигается степень устойчивости  $\lambda > 0$ . Несколько более строгие требования к выбору коэффициентов обратных связей обеспечивают, кроме того, строгую вещественную положительность передаточной функции  $H(s) = k^T(sI - A_c)^{-1}b$  с запасом  $\lambda$ , т.е.  $\text{Re}H(s) > 0$  для  $\text{Re}s \geq -\lambda$ . Именно это свойство позволяет гарантировать асимптотическую устойчивость модели (6) с подключенным в обратную связь динамическим блоком специального класса [1, 15], который и соответствует искомому алгоритму адаптации, генерирующему переменную  $\hat{\theta} = \hat{\theta}(t)$ .

Во многих задачах моделирования можно полагать, что скорость изменения параметров незначительна, т.е. модель изменения  $\theta(t)$  представима в виде  $\dot{\theta} \cong 0$ . Тогда при указанном выше выборе матрицы обратных связей  $k^T$  можно воспользоваться известными схемами адаптации [1, 14], и, в частности, применить интегральный алгоритм настройки параметра вида  $\dot{\hat{\theta}} = k_{a1}zv$ , где  $k_{a1} > 0$  – коэффициент адаптации. При известных ограничениях на свойства функции возбуждения  $z(t)$  [14] такой алгоритм гарантирует асимптотическую устойчивость решения  $e = 0$  и параметрическую сходимость:  $\tilde{\theta} \rightarrow 0$ .

Естественное обобщение одномерных интегральных алгоритмов предусматривает использование схем адаптации, включающих в себя полную модель параметрического дрейфа. Рассмотрим алгоритм вида

$$\dot{\hat{\xi}} = \Gamma\hat{\xi} + k_a zv, \dot{\hat{\theta}} = h^T\hat{\xi}, \quad (7)$$

где  $\hat{\xi} \in R^p$  – оценка вектора состояния  $\xi$  модели параметров (2),  $k_a$  – матрица-столбец коэффициентов адаптации. Проверка возможности применения алгоритма (7) связана с неравенством В.М. Попова [1, 15]. Для обеспечения устойчивости процесса моделирования с произвольной моделью вариации параметров внешних возмущений (2), (3) необходимо, чтобы на соотношение (алгоритм) (7) в процессе моделирования были бы введены дополнительные связи по  $\tilde{\theta}$ . Запишем, временно полагая, что текущие значения параметрической ошибки  $\tilde{\theta} = \theta - \hat{\theta}$  доступны измерению:

$$\dot{\hat{\xi}} = \Gamma\hat{\xi} + k_a (zv + \tilde{\theta}), \quad (8)$$

$$\dot{\hat{\theta}} = h^T\hat{\xi}. \quad (9)$$

Принимая во внимание уравнения (2), (3), найдем модель параметрических ошибок

$$\dot{\tilde{\xi}} = \Gamma_c\tilde{\xi} - k_a zv, \quad (10)$$

$$\dot{\tilde{\theta}} = h^T\tilde{\xi}, \quad (11)$$

где  $\Gamma_c = \Gamma - k_a h^T$ ,  $\tilde{\xi} = \xi - \hat{\xi}$ . При некотором специальном выборе матрицы коэффициентов  $k_a$  можно получить, что

$$\text{Re}\lambda_i[\Gamma_c] \leq -\lambda_a, i = \overline{1, p},$$

где  $\lambda_a > 0$  – степень устойчивости, и передаточная функция  $H_a(s) = h^T(sI - \Gamma_c)^{-1}k_a$  строго вещественно положительна с тем же запасом, т.е.  $\operatorname{Re}H_a(s) > 0$  для  $\operatorname{Re}s \geq -\lambda_a$

Рассматривая уравнения (10) и (5) для  $e = 0$ , получим  $\tilde{\xi} = \Gamma_c \xi$ , следовательно, в силу того, что матрица  $\Gamma_c$  гурвицева,  $\tilde{\xi} \rightarrow 0$ . Это обеспечивает сходимость параметрической ошибки:  $\tilde{\theta} \rightarrow 0$  и, следовательно,  $\hat{\theta} \rightarrow \theta$ .

Естественно, что все вышесказанное справедливо только в предположении измеримости параметрической ошибки  $\tilde{\theta}$  рассогласования между параметрами возмущения и отработки моделью этого возмущения, которое в реальных системах никогда не выполняется. Однако при определенных условиях алгоритм моделирования (8), (9) легко может быть приведен к физически реализуемой форме.

Более сложные проблемы, возникающие для моделей параметров с неизвестными коэффициентами [8], определяют предмет дальнейшего изучения.

### Заключение

В статье представлен подход к моделированию воздействия на систему внешних нестационарных возмущений с произвольной линейной моделью параметрического дрейфа. Для иллюстрации хорошей сходимости процессов моделирования приведены результаты моделирования системы с алгоритмами адаптации второго порядка.

### Литература

1. Landau Y.D. Adaptive control: The model reference approach. M. Dekker, NY, 1979.
2. Narendra K.S. and Annaswamy. Stable adaptive systems. Prentice Hall, New-Jersey, 1989.
3. Мирошник И.В., Никифоров В.О. Алгоритм адаптации с астотизмом второго порядка. // А и Т. 1995. № 7. С. 99–107.
4. Isidori A., C.I. Byrnes. Output regulation of nonlinear systems. // IEEE Trans. Autom. Control. 1990. V. 35. №2. P. 131–140.
5. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. СПб: Наука, 2000.
6. Fradkov A., Miroshnik I. and Nikiforov V. Nonlinear and Adaptive Control of Complex System. Kluwer Ac. Publ., 1999.
7. Бобцов А.А., Мирошник И.В. Динамический алгоритм адаптации нестационарных систем // А и Т. 1999. № 12.
8. Miroshnik I.V. and Nikiforov V.O. Adaptation and self learning of multivariable linear plants. Prepr. 2nd IFAC Symp. on intel. comp. and instr. for control application. Hungary, pp 323–327, 1994.
9. Sastry S.S. and Isidori A. Adaptive control of linearizable systems. IEEE Trans. Autom. Control, v.34, N 11, pp. 1123–1131, 1989.
10. Kreisselmeier G. Adaptive control of a class of slowly time-varying plants. // System and Control Letters. 1986. №8. P.97–103,
11. Tsacalis K.S. and Ionou P.A. Adaptive control of linear time-varying plants. // IEEE Trans. Autom. Control. 1989. V.34. №10. P.1038–1046.
12. Цыпкин Я.З., Каплинский А.И., Ларионов К.Л. Алгоритмы адаптации и обучения в нестационарных условиях // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1970. №5. С. 9–21.
13. Цыпкин Я. З. Алгоритмы динамической адаптации // АиТ. 1972. №1. С. 68–77.
14. Андерсон Б., Битмид Р., Джонсон К. и др. Устойчивость адаптивных систем. М.: Мир, 1989.
15. Попов В.М. Гиперустойчивость автоматических систем. М.: Наука, 1970.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ В КВАЗИПАРАЛЛЕЛЬНОМ

А.В. ДРЕЖИМОВ <sup>Зверев</sup>

Статья посвящена моделированию системы поиска и наведения в квазипараллельном режиме. Предложено вычислять некоторые части математической модели одновременно. Продемонстрировано на примере управления оптическим лучом, что, вычисляя некоторые части математической модели одновременно, можно реализовать алгоритм моделирования в реальном масштабе времени.

## Введение

С ростом производительности компьютеров становится доступным решение все более сложных математических задач за сравнительно короткий промежуток времени. Однако остаются и такие, решения к которым необходимо найти в реальном масштабе времени, причем временной промежуток является очень критичным. К таким задачам, в частности, относятся всевозможные задачи автоматизированного управления системами, стабилизирующими возмущения, вне зависимости от природы самих возмущений. Такие системы будем называть системами реального времени.

При оценке качества системы реального времени, помимо качества самого решения, определяющим критерием является время задержки с момента поступления входной информации до момента принятия решения. Качество принятого решения целиком зависит от математической модели управляющей системы, и, в большинстве случаев, чем сложнее математическая модель, тем более адекватна реакция системы на входную информацию. Однако более сложная математическая модель требует более длительного процесса вычисления, при равных аппаратных возможностях. Таким образом, при возрастании качества математической модели системы управления увеличивается время реакции системы, что может быть недопустимо при работе в реальном времени.

Зачастую эту проблему решают путем баланса между качеством математической модели и производительностью системы, однако не всегда возможно найти приемлемое решение за отведенное время. Безусловно, важно учитывать производительность аппаратной части системы. Современные компьютеры предоставляют большой набор инструментов – производительность в несколько миллиардов операций в секунду, предсказания переходов, конвейерная обработка и т.д.

Цель данной статьи – показать, что иногда существует такой способ оптимизации математической модели, чтобы максимально использовать имеющиеся ресурсы и увеличить, таким образом, производительность процесса моделирования, а также показать, что иногда существует возможность моделировать систему в квазипараллельном режиме, что приводит к увеличению производительности системы управления.

## Моделирование систем в квазипараллельном режиме

Ядром любой системы управления является набор действий. Все эти действия можно представить в виде конечного автомата, где узлы суть состояния системы, а связи – действия, которые производит система в зависимости от разных условий. Тогда каждое следующее состояние получает на вход информацию, накопленную системой на всех предыдущих состояниях. Идея оптимизации системы в том, чтобы преобразовать этот конечный автомат таким образом, чтобы как можно больше действий выполнялось одновременно, и при этом результат работы всей системы не изменился. Такой процесс будем называть параллелизацией модели. Такие параллельные блоки, в случае успеха, можно будет вычислять одновременно, что может привести к улучшению производительности.

Рассмотрим применение метода имитационного моделирования для поиска оптимального алгоритма управления оптическим лучом по двум координатам парой оптических клиньев. В общем виде аналитические соотношения, описывающие работу сис-

темы, включают в себя значения показателей преломления, преломляющих углов клиньев и углы их вращения. Естественно, поиск оптимального алгоритма управления с учетом и качества изображения (хроматизм) одновременно практически невозможен. В этой связи целесообразно произвести декомпозицию системы на две подсистемы – подсистема, обеспечивающая движение луча, и подсистема, обеспечивающая качество изображения. Тогда поиск оптимального алгоритма можно разделить на три этапа:

- поиск алгоритма вращения клиньев при выбранных предварительно значениях преломляющих углов и показателей материала.
- поиск значений преломляющих углов и показателей преломления, обеспечивающие требуемое качество изображения.
- корректировка алгоритма вращения клиньев с учетом результатов второго этапа.

Наиболее сложным является 1-ый этап, его и рассмотрим. Закон преломления в векторной форме имеет вид

$$\begin{cases} \ddot{A}_m = \frac{n_{m-1}}{n_m} (\ddot{A}_{m-1} + \Gamma_m \ddot{N}_m) \\ \Gamma_m = \cos \alpha_m - \frac{n_m}{n_{m-1}} \sqrt{1 - \left(\frac{n_{m-1}}{n_m}\right)^2 (1 - \cos^2 \alpha_m)} \\ \cos \alpha_m = -\ddot{A}_{m-1} \ddot{N}_m \end{cases},$$

где  $\ddot{A}_m$  – вектор преломлённого луча из среды  $m-1$  в среду  $m$  с показателями преломления, соответственно,  $n_{m-1}$  и  $n_m$ ;  $\alpha_m$  – угол падения луча  $\ddot{A}_{m-1}$  на поверхность  $m$  с нормалью  $\ddot{N}_m$ . Пусть

$$\begin{cases} \ddot{A} = \ddot{j}, \ddot{N}_2 = \ddot{N}_3 = -\ddot{j} \\ \ddot{N}_1 = \ddot{i} \times \sin \sigma_1 \sin \phi_1 - \ddot{j} \times \cos \sigma_1 + \ddot{k} \times \sin \sigma_1 \cos \phi_1 \\ \ddot{N}_2 = \ddot{i} \times \sin \sigma_2 \sin \phi_2 - \ddot{j} \times \cos \sigma_2 + \ddot{k} \times \sin \sigma_2 \cos \phi_2 \\ \ddot{A}' = (\Gamma_1 \sin \sigma_1 \sin \phi_1 + n_2 \Gamma_4 \sin \sigma_2 \sin \phi_2) \times \ddot{i} + (1 - \Gamma_1 \cos \sigma_1 - n_2 \Gamma_4 \cos \sigma_2) \times \ddot{j} + (\Gamma_1 \sin \sigma_1 \cos \phi_1 + n_2 \Gamma_4 \sin \sigma_2 \cos \phi_2) \times \ddot{k} \\ \Gamma_1 = \cos \sigma_1 - \sqrt{n_1^2 - \sin^2 \sigma_1} \\ n_2 \Gamma_4 = -(\Gamma_1 \sin \sigma_1 \sin \sigma_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) - (1 - \Gamma_1 \cos \sigma_1) \cos \sigma_2 - \sqrt{1 - n_2^2 (1 - (\Gamma_1 \sin \sigma_1 \sin \sigma_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) - (1 - \Gamma_1 \cos \sigma_1) \cos \sigma_2)^2)}) \end{cases}$$

Так как  $\sin 20 - 20\pi/1800 \approx 1,06 \times 10^{-5}$  и  $\sin 50 - 50\pi/1800 \approx -6,65 \times 10^{-5}$ , то при  $\sigma \leq 50$  можно записать:

$$\begin{cases} \ddot{A}' = (\Gamma_1 \sigma_1 \sin \phi_1 + n_2 \Gamma_4 \sigma_2 \sin \phi_2) \ddot{i} + (1 - \Gamma_1 \sqrt{1 - \sigma_1^2} - n_2 \Gamma_4 \sqrt{1 - \sigma_2^2}) \ddot{j} + (\Gamma_1 \sigma_1 \cos \phi_1 + n_2 \Gamma_4 \sigma_2 \cos \phi_2) \ddot{k} \\ \Gamma_1 = \sqrt{1 - \sigma_1^2} - \sqrt{n_1^2 - \sigma_1^2} \\ n_2 \Gamma_4 = -(\Gamma_1 \sigma_1 \sigma_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) - (1 - \Gamma_1 \sqrt{1 - \sigma_1^2}) \sqrt{1 - \sigma_2^2} - \sqrt{1 - n_2^2 (1 - (\Gamma_1 \sigma_1 \sigma_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) - (1 - \Gamma_1 \sqrt{1 - \sigma_1^2}) \sqrt{1 - \sigma_2^2})^2)}) \end{cases}$$

Тогда в картинной плоскости  $XOZ$  на расстоянии  $L$  имеем: в линейной мере

$$\left\{ \begin{array}{l} x'_L = (\Gamma_1 \sigma_1 \sin \phi_1 + n_2 \Gamma_4 \sigma_2 \sin \phi_2) L \\ z'_L = (\Gamma_1 \sigma_1 \cos \phi_1 + n_2 \Gamma_4 \sigma_2 \cos \phi_2) L \\ \Gamma_1 = \sqrt{1 - \sigma_1^2} - \sqrt{n_1^2 - \sigma_1^2} \\ n_2 \Gamma_4 = -(\Gamma_1 \sigma_1 \sigma_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) - (1 - \Gamma_1 \sqrt{1 - \sigma_1^2}) \sqrt{1 - \sigma_2^2} - \\ - \sqrt{1 - n_2^2 (1 - (\Gamma_1 \sigma_1 \sigma_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) - (1 - \Gamma_1 \sqrt{1 - \sigma_1^2}) \sqrt{1 - \sigma_2^2})^2)}) \end{array} \right.$$

и в угловой мере, соответственно,

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_x = \Gamma_1 \sigma_1 \sin \phi_1 + n_2 \Gamma_4 \sigma_2 \sin \phi_2 \\ Y_z = \Gamma_1 \sigma_1 \cos \phi_1 + n_2 \Gamma_4 \sigma_2 \cos \phi_2 \\ \Gamma_1 = \sqrt{1 - \sigma_1^2} - \sqrt{n_1^2 - \sigma_1^2} \\ n_2 \Gamma_4 = -(\Gamma_1 \sigma_1 \sigma_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) - (1 - \Gamma_1 \sqrt{1 - \sigma_1^2}) \sqrt{1 - \sigma_2^2} - \\ - \sqrt{1 - n_2^2 (1 - (\Gamma_1 \sigma_1 \sigma_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) - (1 - \Gamma_1 \sqrt{1 - \sigma_1^2}) \sqrt{1 - \sigma_2^2})^2)}) \\ \max\{Y\} = \Gamma_1 \sigma_1 + (-\Gamma_1 \sigma_1 \sigma_2 - (1 - \Gamma_1 \sqrt{1 - \sigma_1^2}) \sqrt{1 - \sigma_2^2} - \\ - \sqrt{1 - n_2^2 (1 - (\Gamma_1 \sigma_1 \sigma_2 - (1 - \Gamma_1 \sqrt{1 - \sigma_1^2}) \sqrt{1 - \sigma_2^2})^2)}) \sigma_2 \end{array} \right.$$

Для нахождения траектории движения, т.е. закона управления  $\phi_1$  и  $\phi_2$ , при условии, что  $|\Gamma_1 \sigma_1| = |n_2 \Gamma_4 \sigma_2| = \Gamma$ , и учитывая, что  $\text{sign}(\Gamma_1 \sigma_1) = -\text{sign}(n_2 \Gamma_4 \sigma_2)$ , а  $\Gamma_1 \sigma_1 \neq 0, n_2 \Gamma_4 \sigma_2 \neq 0$ , получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_x = \Gamma(\sin \phi_2 - \sin \phi_1) \\ Y_z = \Gamma(\cos \phi_2 - \cos \phi_1) \end{array} \right.$$

Используя известное тригонометрическое преобразование, получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_x = 2\Gamma \sin \beta \cos \alpha \\ Y_z = -2\Gamma \sin \alpha \sin \beta \end{array} \right.$$

где  $\alpha = \frac{\phi_2 + \phi_1}{2}$ , а  $\beta = \frac{\phi_2 - \phi_1}{2}$ . Далее, если  $\cos \alpha \neq 0$ , то

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin \beta = \frac{Y_x}{2\Gamma \cos \alpha} \\ Y_z = -2\Gamma \sin \alpha \frac{Y_x}{2\Gamma \cos \alpha} \end{array} \right.$$

и, при  $Y_x \neq 0$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \arctan\left(-\frac{Y_z}{Y_x}\right) + \pi k \\ \beta = (-1)^t \arcsin \left[ \frac{Y_x}{2\Gamma \cos \left[ \arctan\left(-\frac{Y_z}{Y_x}\right) + \pi k \right]} \right] + \pi t, \text{ где } k, t, n \in \mathbb{Z}. \\ \alpha \neq \frac{\pi}{2} + \pi m \\ Y_x \neq 0 \end{array} \right.$$

Следует отметить, что выполнение условия  $\cos \alpha \neq 0$  является следствием выполнения условия  $Y_x \neq 0$ . Действительно:

$$\cos \alpha \neq 0 \Rightarrow \alpha \neq \frac{\pi}{2} + \pi k, k \in Z \Leftrightarrow \arctan\left(-\frac{Y_z}{Y_x}\right) \neq \frac{\pi}{2} + \pi k, k \in Z \Leftrightarrow Y_x \neq 0.$$

Тогда получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_1 = \arctan\left(-\frac{Y_z}{Y_x}\right) + \pi k - (-1)^t \arcsin\left[\frac{Y_x}{2\Gamma \cos\left[\arctan\left(-\frac{Y_z}{Y_x}\right) + \pi k\right]}\right] + \pi t \\ \varphi_2 = \arctan\left(-\frac{Y_z}{Y_x}\right) + (-1)^t \arcsin\left[\frac{Y_x}{2\Gamma \cos\left[\arctan\left(-\frac{Y_z}{Y_x}\right) + \pi k\right]}\right] + \pi t \\ Y_x \neq 0 \end{array} \right. ,$$

где  $k, t \in Z$ . Теперь необходимо рассмотреть случай, когда  $Y_x = 0$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_x = 0 \\ \cos \alpha = 0 \Leftrightarrow \varphi_2 + \varphi_1 \in \pi + 2\pi k, k \in Z \\ \sin \beta = 0 \Leftrightarrow \varphi_2 - \varphi_1 \in 2\pi k, k \in Z \end{array} \right.$$

В результате получено следующее выражение:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_x \neq 0 \\ \varphi_1 = \arctan\left(-\frac{Y_z}{Y_x}\right) + \pi k - (-1)^t \arcsin\left[\frac{Y_x}{2\Gamma \cos\left[\arctan\left(-\frac{Y_z}{Y_x}\right) + \pi k\right]}\right] + \pi t \\ \varphi_2 = \arctan\left(-\frac{Y_z}{Y_x}\right) + (-1)^t \arcsin\left[\frac{Y_x}{2\Gamma \cos\left[\arctan\left(-\frac{Y_z}{Y_x}\right) + \pi k\right]}\right] + \pi t \\ Y_x = 0 \\ \cos \alpha = 0 \Leftrightarrow \varphi_2 + \varphi_1 \in \pi + 2\pi k \\ \sin \beta = 0 \Leftrightarrow \varphi_2 - \varphi_1 \in 2\pi k \end{array} \right. ,$$

где  $k, t \in Z$ .

Очевидно, что случай  $Y_x = 0$  вырожденный и параллелизацию применять негде. Рассмотрим ситуацию  $Y_x \neq 0$ , ограничившись главными значениями. Тогда, посчитав  $\arctan$  и  $\arcsin$  поступательно, можно параллельно посчитать сумму и разности, получив, тем самым,  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  одновременно, что позволит увеличить производительность алгоритма. Кроме того, надо отметить, что, так как прибавлять и вычитать мы будем одно и то же значение, можно будет сэкономить на используемой памяти для хранения промежуточного результата.

Системы управления системами оптической локации, безусловно, относятся к системам реального времени, где временной фактор от момента распознавания возмущения до момента его реализации является очень критичным. Использование же параллелизации в системах такого рода позволяет увеличить производительность алгоритма, что, очевидно, дает существенный выигрыш по времени.

### **Заключение**

Показано, что иногда существует способ оптимизации математической модели, таким образом, чтобы максимально использовать имеющиеся ресурсы и увеличить, таким образом, производительность процесса моделирования. На примере управления оптическим лучом показано, что существует возможность моделировать систему в квазипараллельном режиме, что приводит к увеличению производительности системы управления. Продемонстрировано, что, вычисляя некоторые части математической модели одновременно, можно реализовать алгоритм моделирования в реальном масштабе времени.

# УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ САПР ВЕРИФИКАЦИИ И ТЕСТИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОГРАММ

О.Ф. Немолочнов, А.Г. Зыков, В.И. Поляков, К.В. Петров

В работе формулируются требования и предлагаются методы решения задачи проектирования и разработки учебно-исследовательской САПР верификации и тестирования программ для формализации учебного процесса и дальнейшей разработки промышленных САПР верификации и тестирования программ практической сложности.

В работе [1] предложена итерационно-рекурсивная модель вычислительного процесса программ, которая может являться теоретической основой для разработки учебно-исследовательской САПР верификации и тестирования программ. Основные теоретические положения разработки учебно-исследовательской САПР изложены в работах [2– 4]. На основе изложенного выдвигаются требования и формулируются задачи создания САПР и ее применение в учебном процессе по изучению основ программирования. Они преследуют следующее:

- изучение основ программирования логики вычислительных процессов вне зависимости от конкретного языка программирования (изучение конкретного языка программирования составляет основу грамотности и, несмотря на его важность, носит вспомогательный характер);
- унификацию структурных единиц вычислительных процессов, например: программирование сложных условий-предикатов, организацию циклов и их стандартизацию, выделение процедур и написание головных программ, реализацию интервальных формул: итеративных и рекуррентных;
- построение графо-аналитических моделей путем выделения линейных и условных вершин с последующим объединением их в параллельные структуры (графо-аналитические модели являются основой документирования вычислительных процессов при передаче программного продукта от исполнителя к заказчику);
- построение покрытий логических условий-предикатов на основе алгебро-топологических методов (комплексные покрытия являются математическим описанием структурных единиц вычислительных процессов и служат машинно-ориентированной базой верификации вычисляемых переменных – параметров программ);
- применение учебно-исследовательской САПР (УИ САПАР) позволит унифицировать труд преподавателей, повысить его эффективность и качество через объективность оценки обучаемого.

При построении УИ САПР следует выделить главное и вспомогательное. Вспомогательным является разработка различного рода сервисных программ, таких, как оболочки, баз данных контрольных примеров с соответствующим уровнем защиты, групповых журналов, статистической обработки и т.п.

Главным является построение базы знаний в виде специализированного программного обеспечения, включающего в себя:

- разработку методов структурирования и построения на их основе графо-аналитических моделей [5];
- построение параллельных структур, вычисляющих те или иные переменные, с выделением в особые классы циклов и процедур;
- построение комплексных кубических покрытий [3], включающих в себя логику управления вычислительным процессом и сами вычисления значений переменных – операционную часть вычислительного процесса;

- автоматизацию построения комплексных покрытий на основе метода ветвей и границ (основная сложность построения таких покрытий лежит в области различного рода и типа циклов и их сочетания между собой, порождающих как итерационные, так и рекурсивные вычислительные процессы, анализ которых представляет собой проблемную и весьма трудоёмкую переборную задачу);
- автоматизацию процессов верификации вычислений через покрытия и перекрестное тестирование вычислительных процессов для программ, спроектированных на различных алгоритмических языках и, возможно, для различных вычислительных платформ (в особую задачу следует выделить верификацию программ относительно «эталонного» (квазиэталонного) вычислительного процесса, построенного по техническому заданию либо для виртуальной вычислительной машины на основе сокращённой системы команд по RISC-технологии, либо на универсальном алгоритмическом языке).

Построение УИ САПР позволит перейти к разработке обучающих систем в области программирования и, после проведения соответствующих исследований, – к проектированию и разработке промышленных САПР верификации и тестирования программ практической сложности, что на сегодняшний день является актуальной проблемой. В настоящее время разработаны отдельные подсистемы УИ САПР (построение графо-аналитической модели программы, построение комплексных покрытий, моделирование простых логических неисправностей, структурирование программ и др.) и проводятся дальнейшие теоретические исследования и практические разработки.

### Литература

1. Итерационно-рекурсивная модель вычислительных процессов программ / Немолочнов О.Ф., Зыков А.Г., Поляков В.И., Осовецкий Л.Г., Сидоров А.В. Кулагин В.С. // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т.48. №12. С.14–20.
2. Верификация в исследовательских, учебных и промышленных системах / Немолочнов О.Ф., Зыков А.Г., Лаздин А.В., Поляков В.И. // Научно-технический вестник СПб ГУ ИТМО. Выпуск 11. Актуальные проблемы анализа и синтеза сложных технических систем. / Под ред. В.О.Никифорова. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2003. С. 146–151.
3. Немолочнов О.Ф., Зыков А.Г., Поляков В.И. Кубические покрытия логических условий вычислительных процессов и программ. // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Выпуск 14. Информационные технологии, вычислительные и управляющие системы / Гл. ред. В.Н. Васильев. СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. С. 225–233.
4. Немолочнов О.Ф., Зыков А.Г., Поляков В.И. Методы анализа вычислительных процессов программ в исследовательских и учебных проектах // Труды межд. конф. «Интеллектуальные системы» (AIS'05) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2005), Научное издание в 3-х томах. М.: Физматлит, 2005. Т.2. С.424–430.
5. Структурирование программ и вычислительных процессов на множество линейных и условных вершин / Немолочнов О.Ф., Зыков А.Г., Поляков В.И., Сидоров А.В. // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Выпуск 19. Программирование, управление и информационные технологии. / Гл. ред. В.Н. Васильев. СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. С.207–212.

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКООДНОРОДНОГО ПОЛЯ  
ПОСТОЯННОГО МАГНИТА МР-ТОМОГРАФА

Ю.И. Неронов, В.С. Сизиков, Д.Ю. Соколов

Разработана методика расчета магнитного поля в зазоре постоянного цилиндрического магнита с полюсными наконечниками. Методика использует аналогию между магнитом и набором витков с током. Для повышения однородности поля вводятся углубления и «ямки» в наконечниках, т.е. предлагается постоянный магнит сложной конфигурации. Параметры магнита, углублений и «ямок» определяются из условия минимума отклонения рассчитанного поля от однородного. Даны результаты численного моделирования.

## Введение

В данной работе рассматриваются постоянные (перманентные) магниты, используемые в МР-томографах для формирования магнитных полей [1]. Преимущество постоянных магнитов перед сверхпроводящими и резистивными магнитами состоит в том, что постоянный магнит не требует охлаждения жидким гелием или водой, использования электричества, а также может быть размещен в ограниченном пространстве и, как следствие, является гораздо более дешевым. Однако расчет конфигурации постоянного магнита, обеспечивающей формирование высокооднородного магнитного поля, требует специального подхода. Тема данной работы актуальна, так как высокая однородность магнитного поля необходима для обеспечения высокой разрешающей способности томограмм [2, с. 51–53].

В работе для разработки удобного математического аппарата, необходимого для расчета поля постоянного магнита, используется следующая *аналогия* [3, с. 356]. Рассмотрим *магнетик* (вещество, способное влиять на магнитное поле) в виде однородного цилиндра (см. рис. 1).

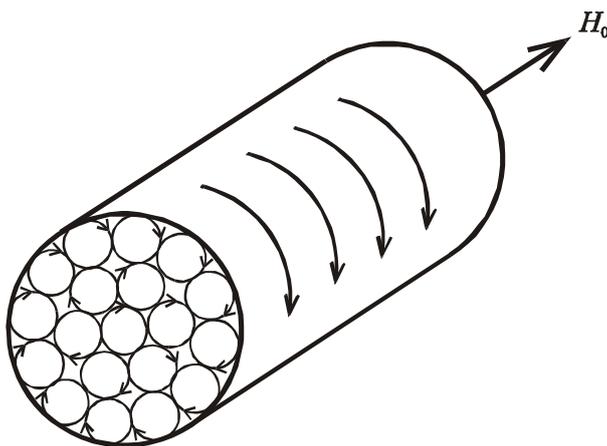


Рис. 1. Постоянный магнит с молекулярными токами

Под влиянием внешнего поля  $H_0$  в толще цилиндра у частиц (протонов) возникает ларморова прецессия их магнитных моментов [2, с. 34–36], причем у парамагнетиков и ферромагнетиков больше протонов будет прецессировать по полю, чем против поля. Другими словами, возникают круговые молекулярные токи (если рассматривать

ансамбли протонов). Однако они в основном компенсируют друг друга. Некомпенсированными будут лишь токи, текущие по боковой поверхности цилиндра, и они создают добавочное остаточное поле  $H'$ . Эти токи аналогичны токам в круговых витках или в соленоидах, и поэтому для расчета магнитных полей постоянных цилиндрических (и не только цилиндрических) магнитов можно использовать формулы для расчета полей отдельных витков и соленоидов с током.

### Магнитное поле витка и соленоида с током

Рассмотрим тонкий круговой виток с током (рис. 2).

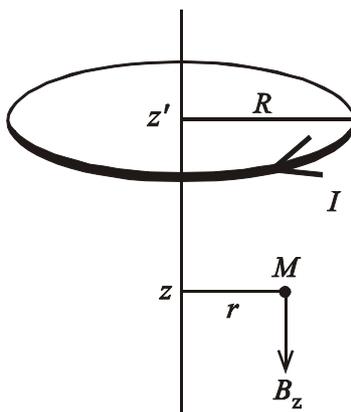


Рис. 2. Тонкий круговой виток с током

Продольная составляющая вектора магнитной индукции, создаваемой витком в точке  $M(z, r)$ , равна [4]

$$B_z(z, r) = C_1 \frac{R}{2} \int_0^{2\pi} \frac{R - r \cos \varphi}{(R^2 + r^2 - 2Rr \cos \varphi + \Delta z^2)^{3/2}} d\varphi, \quad (1)$$

где  $C_1 = \mu_0 I / 2\pi$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Тл м/А – магнитная постоянная,  $I$  – ток в витке в А,  $R$  – радиус витка в м,  $\Delta z = z - z'$ ,  $z'$  –  $z$ -координата центра витка в м.

Интеграл в (1) берется аналитически через спецфункции, в результате чего [4]

$$B_z(z, r) = \frac{C_1}{\sqrt{(R+r)^2 + \Delta z^2}} \left[ \frac{R^2 - r^2 - \Delta z^2}{(R-r)^2 + \Delta z^2} E(k) + K(k) \right], \quad (2)$$

где  $E$  и  $K$  – полные эллиптические интегралы соответственно 2-го и 1-го рода с модулем

$$k = \left\{ 4Rr / [(R+r)^2 + \Delta z^2] \right\}^{1/2}, \quad (3)$$

равные [5, с. 68, 245]

$$E(k) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi} d\psi, \quad k \in [0, 1], \quad (4)$$

$$K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\psi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi}}, \quad k \in [0, 1], \quad (5)$$

причем

$$E(0) = K(0) = \pi/2, \quad E(1) = 1, \quad K(1) = \infty.$$

Частные случаи. Если точка  $M$  находится на оси витка (т.е.  $r = 0$ ) и  $R \neq 0$ , то  $k = 0$  и

$$B_z(z, 0) = C_1 \pi \frac{R^2}{(R^2 + \Delta z^2)^{3/2}}. \quad (6)$$

Если точка  $M$  находится в центре витка (т.е.  $\Delta z = r = 0$ ) и  $R \neq 0$ , то

$$B_z(z = z', 0) = C_1 \frac{\pi}{R}. \quad (7)$$

Если точка  $M$  находится на витке (т.е.  $\Delta z = 0$ ,  $r = R$ ), то

$$B_z(z = z', r = R) = \infty. \quad (8)$$

Формулы (2)–(8), справедливые для отдельных круговых витков с током, могут быть использованы для расчета магнитного поля цилиндрического постоянного магнита, если представить цилиндрический магнит в виде набора круговых витков с током (см. ниже). При этом одно из отличий магнита от набора витков состоит в том, что константа  $C_1$  в формулах (1), (2), (6), (7), равная  $\mu_0 I / 2\pi$  для витков, имеет другой смысл для магнита и зависит от материала магнита, а также от напряженности поля при намагничивании магнита [3, с. 373].

Рассмотрим *соленоид* – единый намотанный на цилиндр тонкий провод с током (рис. 3).

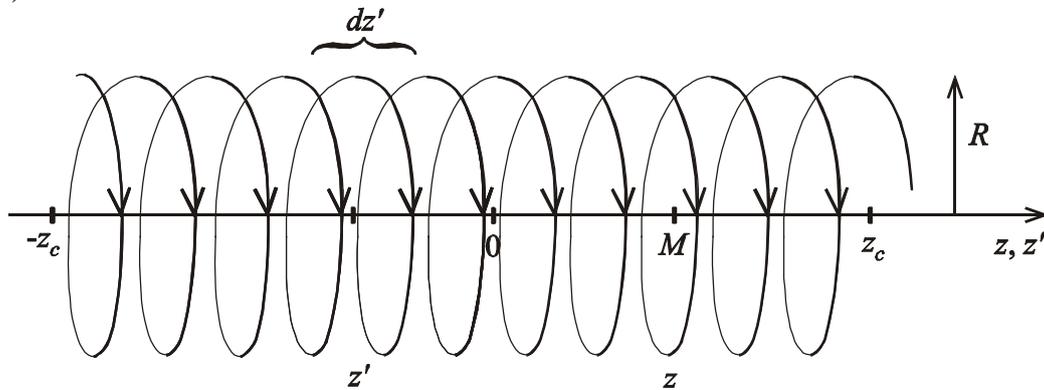


Рис. 3. Соленоид

Использование соленоида позволит ускорить расчет магнитного поля на оси цилиндрического магнита. Пусть  $z_c$  – полудлина соленоида,  $R$  – его радиус,  $n$  – плотность намотки – число витков на единицу длины (не обязательно целое число).

Индукция в некоторой точке  $M(z, 0)$  на оси соленоида равна сумме индукций отдельных витков. Выделим элемент  $dz'$  длины соленоида. На него будет приходиться  $n dz'$  витков (не обязательно целое число). В результате участок  $dz'$  соленоида можно рассматривать как круговой ток силы  $I n dz'$ , где  $I$  – сила тока в каждом витке в А ( $I n$  – плотность тока в А/м). Тогда индукция в точке  $M$  равна (см. (6))

$$dB_z = C_2 \frac{R^2 dz'}{\sqrt{[R^2 + (z - z')^2]^3}},$$

где  $C_2 = \mu_0 I n / 2$ , причем  $dB_z$  как вектор направлен в одну и ту же сторону (по правилу правого буравчика) и в случае, когда  $z' < z$ , и в случае, когда  $z' > z$ . Суммарная индукция в точке  $M(z, 0)$ , создаваемая всем соленоидом, равна сумме (интегралу) по виткам:

$$B_z(z, 0) = \int_{-z_c}^{z_c} dB_z = C_2 R^2 \int_{-z_c}^{z_c} \frac{dz'}{\sqrt{[R^2 + (z - z')^2]^3}}.$$

Такой интеграл берется аналитически, в результате

$$B_z(z, 0) = C_2 \left[ \frac{z_c + z}{\sqrt{(z_c + z)^2 + R^2}} + \frac{z_c - z}{\sqrt{(z_c - z)^2 + R^2}} \right]. \quad (9)$$

Частные случаи. Если  $z = 0$ , т.е.  $M$  – в центре соленоида, то

$$B_z(0, 0) = \frac{2C_2}{\sqrt{1 + (R/z_c)^2}}. \quad (10)$$

Если  $z = z_c$ , т.е.  $M$  – на краю соленоида, то

$$B_z(z_c, 0) = \frac{2C_2}{\sqrt{4 + (R/z_c)^2}}. \quad (11)$$

Формулу (9) (а также (10) и (11)) можно использовать для расчета поля на оси как соленоида, так и аналогичного ему цилиндрического постоянного магнита. При этом константа  $C_2$  в случае соленоида равна  $\mu_0 I n/2$ , а в случае магнита  $C_2$  (как и  $C_1$ ) зависит от свойств магнита и процесса его намагничивания. Значение  $C_2$  в случае магнита можно определить, опираясь на экспериментальные измерения (см. (9)):

$$C_2 = B_z(z, 0) \left[ \frac{z_c + z}{\sqrt{(z_c + z)^2 + R^2}} + \frac{z_c - z}{\sqrt{(z_c - z)^2 + R^2}} \right]^{-1}, \quad (12)$$

где  $B_z(z, 0)$  – измеренное значение индукции на оси магнита при некотором  $z \geq z_c$ .

Рассмотрим магнитное поле на оси соленоида с зазором (рис. 4).

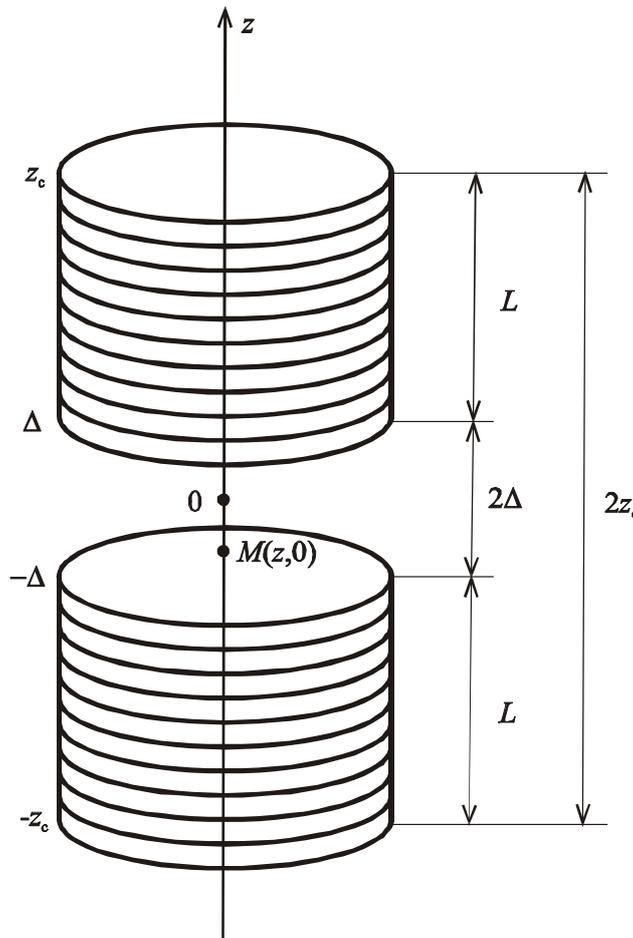


Рис. 4. Соленоид с зазором

Индукция в зазоре (в щели) на оси такого соленоида равна разности индукций соленоида типа рис. 3 полудлины  $z_c$  и соленоида типа рис. 3 полудлины  $\Delta$ , где  $\Delta$  – полудлина зазора. В результате индукция в точке  $M(z,0)$  в зазоре на оси будет равна (см. (9))

$$B_z(z,0) = C_2 \left[ \frac{z_c + z}{\sqrt{(z_c + z)^2 + R^2}} + \frac{z_c - z}{\sqrt{(z_c - z)^2 + R^2}} \right] - C_2 \left[ \frac{\Delta + z}{\sqrt{(\Delta + z)^2 + R^2}} + \frac{\Delta - z}{\sqrt{(\Delta - z)^2 + R^2}} \right]. \quad (13)$$

### Численный пример

Разработан пакет программ MAGNET для расчета магнитных полей цилиндрических магнитов с наконечниками, имеющими углубления и «ямки» (для повышения однородности полей). Программы разработаны на MS Fortran 5, а графика – на MathCAD, CorelDRAW и PaintBrush. Вычисления запрограммированы с двойной точностью.

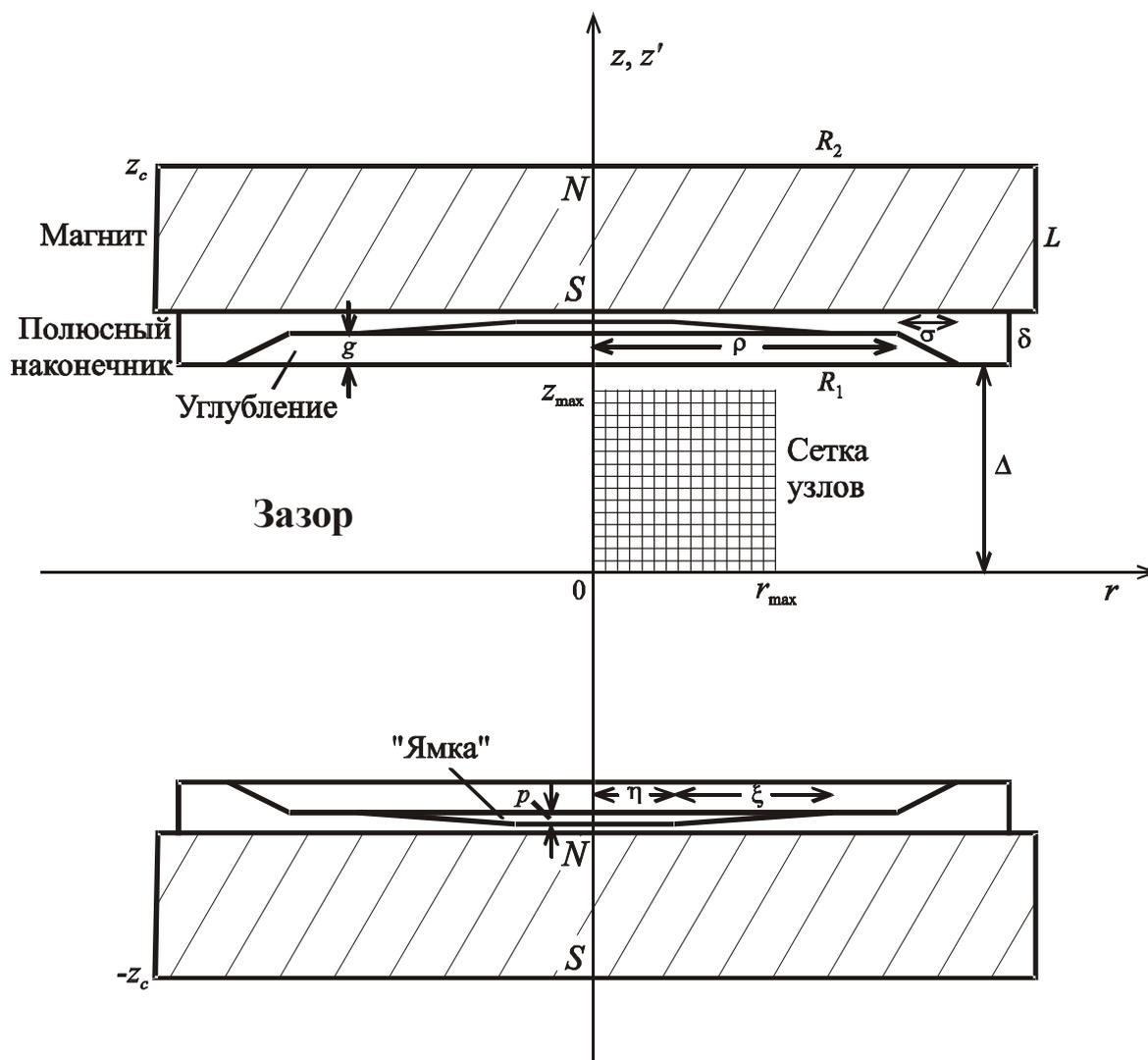


Рис. 5. Постоянный магнит с зазором и полюсными наконечниками с углублениями и «ямками»

Приведем пример расчета поля магнита (рис. 5), имеющего параметры (в мм):  $L + \delta = 250$ , где  $L$  – длина магнита,  $\delta$  – длина наконечника,  $R_1 = R_2 = 300$ , где  $R_1$  – радиус наконечника,  $R_2$  – радиус магнита,  $\Delta = 150$  – полудлина щели (зазора). Это – заданные параметры.

Параметры углубления: глубина  $g$ , минимальный радиус  $\rho$  и максимальный радиус  $\rho + \sigma$ ; параметры «ямки»: высота  $p$ , минимальный радиус  $\eta$  и максимальный радиус  $\eta + \xi$  – эти параметры подлежат определению.

Поле  $B_z(z, r)$  в зазоре рассчитывалось на сетке узлов:  $z \in [0, z_{\max}]$ ,  $r \in [0, r_{\max}]$  с шагом дискретизации  $h = \Delta z = \Delta r = 1$  мм, причем  $z_{\max} = r_{\max} = 140$  мм.

Сначала рассчитывались две функции:  $B_z(z, 0)$  и  $B_z(0, r)$  согласно (6) и (2) путем суммирования по виткам. Формы углублений и «ямок» аппроксимировались прямыми линиями. В результате получена следующая формула для радиуса витка, уложенного в углубление:

$$R(z') = \frac{\sigma}{g}(\Delta - |z'|) + \rho + \sigma, \quad (14)$$

и формула для радиуса витка, уложенного в «ямку»:

$$R(z') = \frac{\xi}{p}[|z'| - (\Delta + g)] + \eta + \xi, \quad (15)$$

причем поля витков углублений и «ямок» вычитаются из полей витков магнита и накопечников. В качестве *критерия выбора* оптимальных значений  $g, \rho, \sigma, p, \eta, \xi$  использовалось условие минимума отклонения рассчитанного поля от однородного:

$$\varepsilon_{\text{opt}} = \min_{g, \rho, \sigma, p, \eta, \xi} \varepsilon, \quad (16)$$

где

$$\varepsilon = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n \left| \frac{B_z(z_i, 0) - B_z(0, 0)}{B_z(0, 0)} \right|, \quad (17)$$

причем  $n = 75$  – число дискретных шагов  $h$  вдоль  $z$  от  $z = 0$  до  $z = \Delta/2$ .

На рис. 6 приведены две функции  $B_z(z, 0)$  и  $B_z(0, r)$  при  $\varepsilon = \varepsilon_{\text{opt}} = 0.4493 \cdot 10^{-5}$ ,  $g = g_{\text{opt}} = 106$ ,  $\rho = \rho_{\text{opt}} = 190.5$ ,  $\sigma = \sigma_{\text{opt}} = 92.5$ ,  $p = p_{\text{opt}} = 5$ ,  $\eta = \eta_{\text{opt}} = 74.2$ ,  $\xi = \xi_{\text{opt}} = 3.74$  мм.

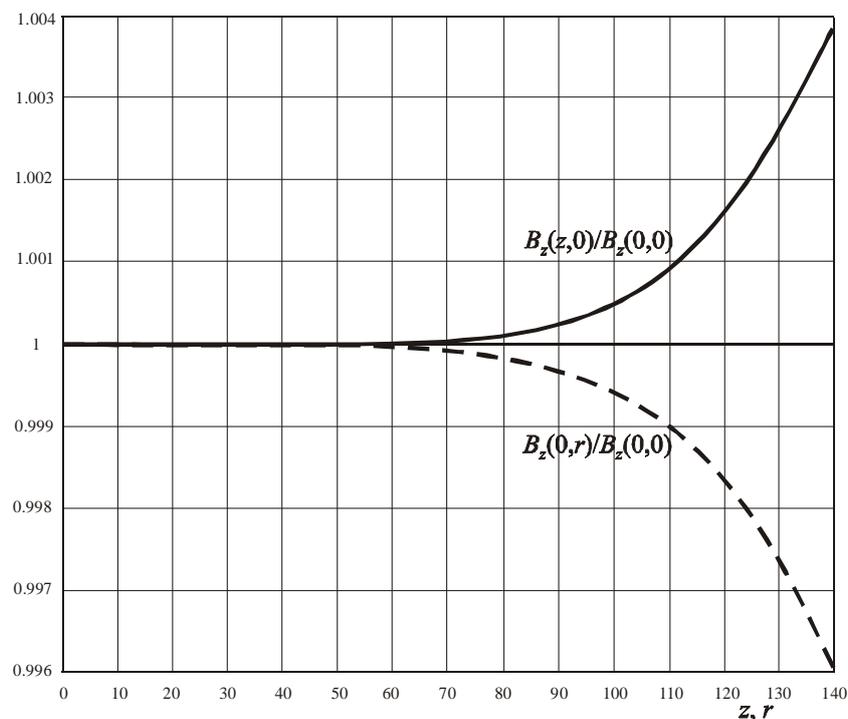


Рис. 6. Функции (поля)  $B_z(z, 0)$  и  $B_z(0, r)$  при оптимальных значениях параметров

Результаты, отображенные на рис. 6, качественно близки результатам японских физиков [1]. Однако в работах [1, 6] и др. в основания углублений были введены так называемые «горки», а в данной работе – «ямки», что позволило повысить степень однородности поля.

На рис. 7 приведены изолинии нормированного поля  $B_z(z, r)/B_z(0, 0)$ .

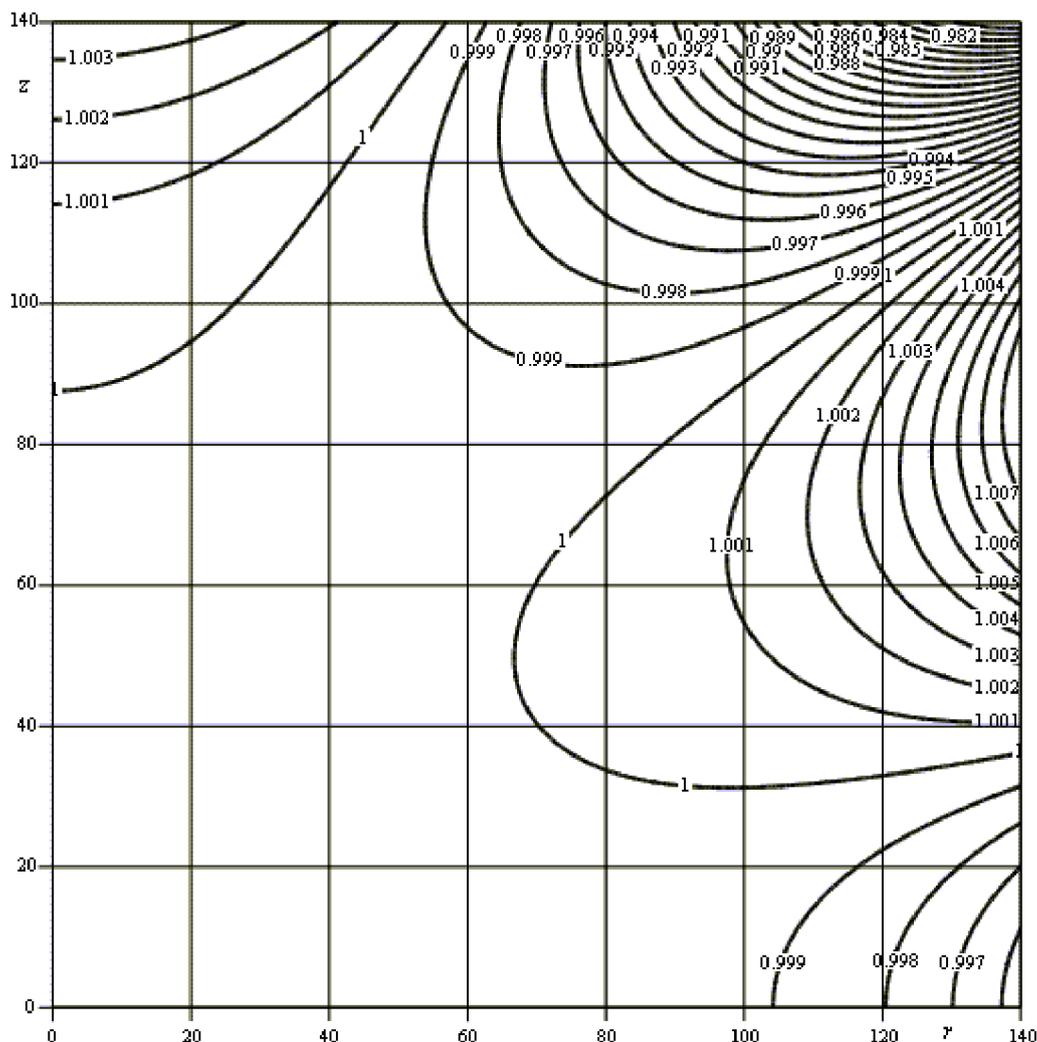


Рис. 7. Изолинии нормированного поля  $B_z(z, r)/B_z(0, 0)$

Результаты, отображенные на рис. 7, качественно близки результатам работы [6].

На рис. 8 для большей наглядности приведены изолинии функции (логарифм относительной неоднородности поля)

$$\lg \frac{|B_z(z, r) - B_z(0, 0)|}{B_z(0, 0)}, \quad (18)$$

причем непрерывными линиями отображены изолинии, пунктирными линиями – огибающие изолиний, а штрих-пунктирной линией – 50-процентная зона (рабочая зона радиуса  $\Delta/2$ ).

### Замечания

Приведем важные замечания математического и технического характера.

1. Если все 9 параметров  $L + \delta$ ,  $R_1 = R_2$ ,  $\Delta$ ,  $g$ ,  $\rho$ ,  $\sigma$ ,  $p$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  умножить на некоторый множитель  $a > 0$ , то вид кривых на рис. 6–8 не изменится. Лишь  $z$  и  $r$  нужно умножить на  $a$ . Другими словами, частный численный пример обладает большой общностью. На рис. 6–8 приведены результаты моделирования при  $a = 1$ .

2. Если изготавливать магнит из мягкого железа, то он будет дешевым, но его поле будет слабым (около 0.2 Тл) и к тому же мягкое железо быстро размагничивается и поэтому потребуются непрерывное намагничивание его с помощью катушки с током простой конфигурации. Можно этих недостатков избежать, если использовать высококачественный сплав, например, Nd+Fe+V (как в работах [1, 6]), но это будет дорогой магнит.

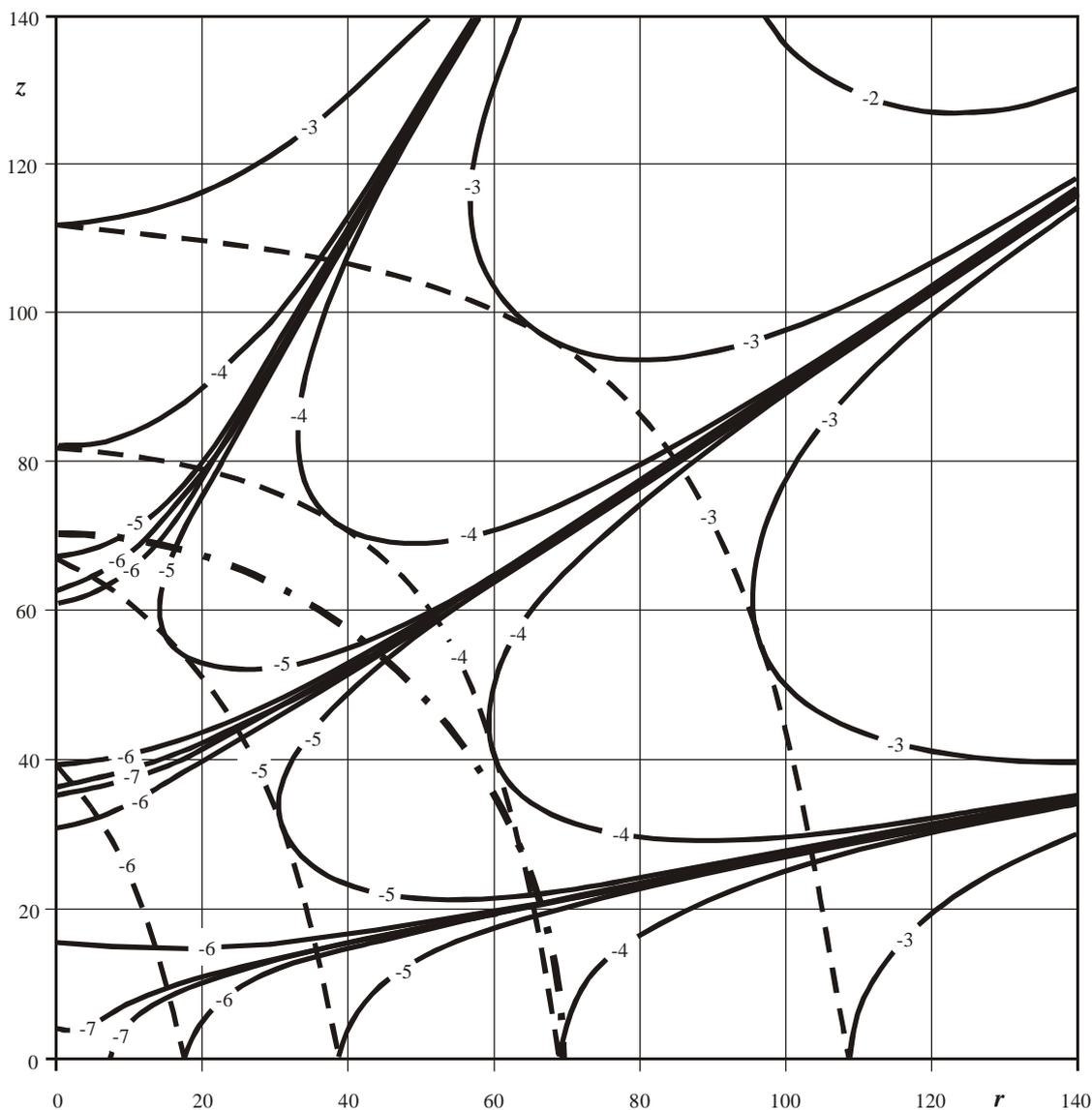


Рис. 8. Изолинии логарифма относительной неоднородности поля  $\lg[|B_z(z, r) - B_z(0, 0)|/B_z(0, 0)]$

### Заключение

В данной работе дано дальнейшее развитие методики расчета магнитных полей постоянных магнитов МР-томографов. Для повышения однородности поля в наконечниках магнитов использованы углубления и «ямки», т.е. рассматривается постоянный магнит сложной конфигурации. Для расчета полей использована аналогия между по-

стоянным магнитом (а также его наконечниками, углублениями и «горками») и набором витков с током. Приведены рабочие формулы, разработаны программы, решены модельные примеры, показавшие, что данная методика позволяет получать высокооднородные поля постоянных магнитов с относительной неоднородностью  $\Delta B/B \sim 10^{-5} - 10^{-6}$ , т.е. 1–10 ppm.

Данную методику можно рекомендовать для практической реализации в виде дешевого отечественного МР-томографа, предназначенного для обследования детей с целью выявления у них патологий на ранней стадии их развития. Длина зазора  $2\Delta \approx 30$  см (как и рабочая зона диаметром  $\Delta \approx 15$  см) вполне достаточна для размещения ребенка, а поле  $B \approx 0.2$  Тл достаточно и безвредно для его обследования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 05-08-01304-а).

### Литература

1. Miyamoto T., Sakurai H., Takabayashi H., Aoki M. Development of a permanent magnet assembly for MRI // J. Magnetism Soc. Japan, 1989. vol. 13. № 2. p. 465–468.
2. Сизиков В.С. Математические методы обработки результатов измерений. СПб: Политехника, 2001. 240 с.
3. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Т. 2. Электрические и электромагнитные явления. МЛ: ГИТТЛ, 1952. 616 с.
4. Галайдин П.А., Иванов В.А., Марусина М.Я. Расчет и проектирование электромагнитных систем магниторезонансных томографов. Уч. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. 87 с.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Изд-е 13-е. М.: Наука, 1986. 544 с.
6. Sakurai H., Aoki M., Miyamoto T. Improvement of the field homogeneity with a permanent magnet assembly for MRI // J. Magnetism Soc. Japan. 1990. Vol. 14. № 2. P. 465–468.

# НОВЫЕ СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ АРТЕФАКТОВ НА ТОМОГРАФИЧЕСКИХ И ИНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Д.Д. Захаров, В.С. Сизиков, В.В. Шемплинер, Д.С. Щекотин

Разработано несколько новых способов подавления случайных и детерминированных помех на изображениях. В 1-м способе мощная детерминированная деталь подавляется путем усечения ее интенсивности. Во 2-м способе для очищения изображения от мощной квазислучайной помехи используются: адаптивная фильтрация Винера, разбиение интенсивностей на три уровня, медианная и ранговая фильтрация и наложение очерченного и обеленного изображений. В 3-м способе для фильтрации умеренной случайной импульсной помехи достаточно использовать медианную фильтрацию. 4-й способ предназначен для обработки продавленного текста.

## Введение

Задача очистки изображений от артефактов (различного рода помех) является одной из актуальных задач обработки изображений [1, 2]. Существует ряд методов (способов, алгоритмов) подавления или компенсации случайных и детерминированных помех на изображениях, в частности, на РКТ- и ЯМР-томограммах. Это – использование преобразований Фурье, Радона, косинус-преобразования, вейвлет-преобразования с усечением высокочастотных частей спектров, бинаризация изображений с отсечением по порогу, выравнивание гистограмм, винеровская, медианная и ранговая фильтрации, создание маски специального фильтра (Гаусса, Лапласа, Собеля и др.), морфологические операции над бинарными изображениями и т.д. [1–4]. Многие из этих методов нашли отражение, в частности, в пакетах Image Processing Toolbox и Wavelet Toolbox расширения системы MatLab [3, 4]. Однако одиночное применение таких прикладных программ (функций), как `fft2`, `ifft2`, `dct2`, `idct2`, `wpdencmp`, `im2bw`, `histeq`, `wiener2`, `medfilt2`, `ordfilt2`, `fspecial` [4, с. 519, 517, 437, 527, 545, 553, 550, 531], `bwmorph` [3, с. 365] и др., часто не дает удовлетворительного результата при обработке изображений типа приведенных ниже и требуется или разработка новых методов и программ, или применение нескольких известных программ. В данной работе предлагается ряд новых способов очистки изображений, в частности, томограмм от помех.

## Первый способ

Этот способ ориентирован на случай, когда томограмма содержит мощную детерминированную деталь, например, отблеск от металлической коронки зуба, которая заглушает слабые детали на томограмме. На рис. 1а приведена серая томограмма (из работы [5]) размера  $n \times n$  пикселей с интенсивностями в диапазоне  $[0, I_{\max}]$ , где  $n = 500$ ,  $I_{\max} = 255$ , а именно, изображение в виде двумерного массива целых чисел типа `uint8` [4]. Эта томограмма имеет мощную деталь (в левом верхнем углу на рис. 1а) с интенсивностью  $I = I_{\max}$ . Предлагается подавлять частично или полностью такую деталь *способом усечения максимума интенсивности*. Этот способ впервые изложен в работах [5, 6], однако в рамках метода свертки и обратной проекции. В данной работе он формулируется проще. Согласно этому способу, сначала вводится *условие усечения* интенсивностей  $I_{i,j}$  в районе мощной детали:

$$\text{if } I_{i,j} \geq I_{t1} \ \& \ i, j \in D, \text{ then } I_{i,j} = I_{t2}, \quad i, j = 1, \dots, n,$$

где  $I_{t1}, I_{t2} \in [0, I_{\max}]$  – два пороговых (threshold) значения,  $D$  – область, содержащая мощную деталь. Затем все интенсивности  $I_{i,j}$  умножаются на

$$r = \frac{I_{\max}}{\max(I_{t2}, I_{\text{next}})},$$

где  $I_{\text{next}}$  – интенсивность следующей по мощности детали.

Дадим краткое пояснение способа. Если  $I_{t2} = 0$ , то мощная деталь станет черной. Если  $I_{t2} = I_b$ , где  $I_b \in (0, I_{next})$  – интенсивность фона (background), то мощная деталь сравняется с фоном. Если  $I_{t2} = I_{max}$ , то мощная деталь останется неизменной.

Данный способ реализован в программе (m-файле) way1.m на MatLab 6.5.

Томограмме на рис. 1а соответствуют  $D = \{i > 90 \& i < 150 \& j > 140 \& j < 190\}$ ,  $I_b = 80$ ,  $I_{next} = 142$ . На рис. 1б дан результат обработки при  $I_{t1} = I_{t2} = 0.55 \cdot I_{max} = 140.25$ . Видим, что слабые детали, почти невидимые на исходной томограмме (рис. 1а), в результате применения данного способа выявились на рис. 1б. При этом мощная деталь не подавлена. На рис. 1в приведен результат обработки при  $I_{t1} = 0.75 \cdot I_b = 60$ ,  $I_{t2} = I_b = 80$ . Рис. 1в показывает также хорошее восстановление слабых деталей, причем при практически полном подавлении мощной детали (точнее, при усечении ее интенсивности до уровня фона).

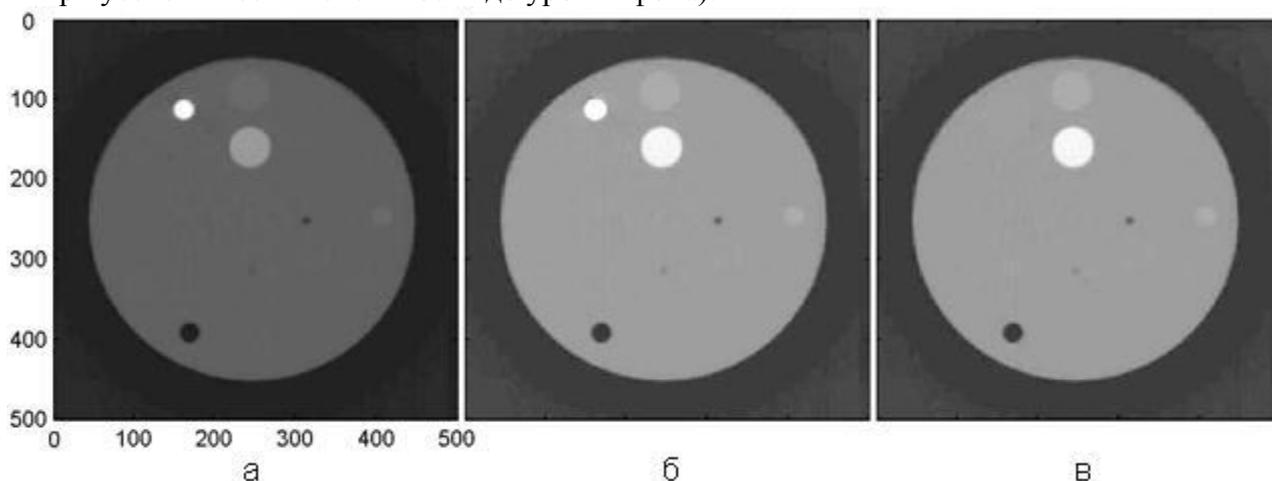


Рис. 1. Томограмма с мощной деталью (а) и томограммы с усечением (б, в)

### Второй способ

Данный способ разработан применительно к случаю, когда требуется очистить изображение от мощной квазислучайной помехи (см. рис. 2.1 из работы [7]). Применение лишь одного какого-то способа, например, адаптивной фильтрации Винера не дает удовлетворительного результата. Поэтому предлагается использовать последовательно ряд методов и соответствующих программ из пакета Image Processing Toolbox системы MatLab [3, 4].

На рис. 2.1 дано исходное сильно зашумленное серое РКТ-изображение  $I_1$  размера  $500 \times 500$  пикселей типа uint8. Далее на рис. 2.2–2.8 представлены результаты обработки этого изображения с последовательным использованием следующих методов и программ [3, 4].

*Фильтрация Винера:*  $I_2 = \text{wiener}(I_1, [14 \ 14])$  с окном  $14 \times 14$  пикселей (рис. 2.2).

*Разбиение интенсивностей* изображения  $I_2$  на три уровня: 0, 125 и 255 (изображение  $I_3$  на рис. 2.3).

*Медианная фильтрация:*  $I_4 = \text{medfilt2}(I_3, [12 \ 12])$  с маской  $12 \times 12$  пикселей (рис. 2.4).

*Ранговая фильтрация:*  $I_5 = \text{ordfilt2}(I_4, 80, \text{ones}(10, 10))$  с маской в виде матрицы  $10 \times 10$  из единиц и с центральным элементом маски под номером 80 – обеливание  $I_4$  (рис. 2.5).

*Ранговая фильтрация:*  $I_6 = \text{ordfilt2}(I_5, 4, \text{ones}(22, 22))$  с маской в виде матрицы  $22 \times 22$  из единиц и с центральным элементом маски под номером 4 – очернение  $I_5$  (рис. 2.6).

*Ранговая фильтрация:*  $I7 = \text{ordfilt2}(I5, 160, \text{ones}(13, 13))$  с маской в виде матрицы  $13 \times 13$  из единиц и с центральным элементом маски под номером 160 – обеливание  $I5$  (рис. 2.7).

*Наложение (суммирование) очерненного и обеленного изображений  $I6$  и  $I7$*  (изображение 18 на рис. 2.8).

Видим, что в результате последовательного применения ряда методов и программ удастся очистить изображение  $I1$  от мощного шума, состоящего из случайной и детерминированной компонент, и выделить полезные детали (см. изображение 18 на рис.2.8).

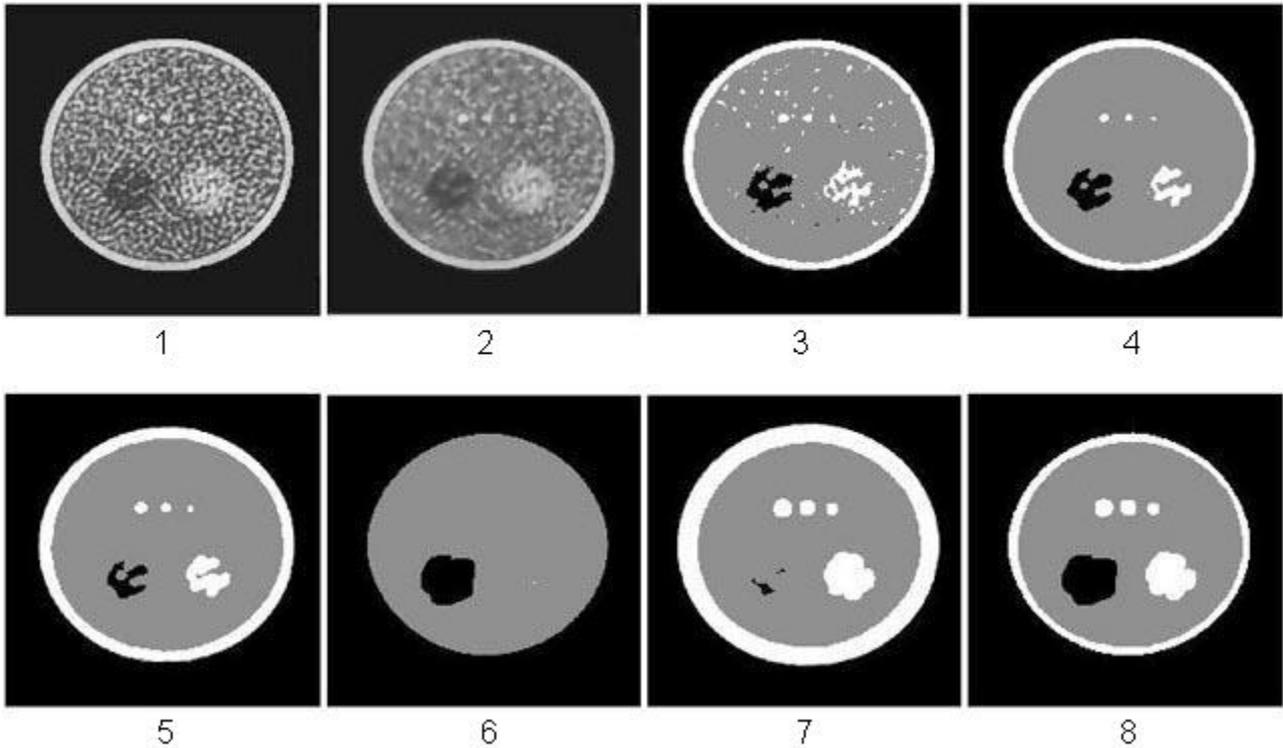


Рис. 2. Очистка изображения от мощной квзислучайной помехи

### Третий способ

Рассмотрим случай, когда на томограмму наложена случайная импульсная помеха – шум типа "salt & pepper" ("соль и перец") [4, с. 548] (рис. 3а).

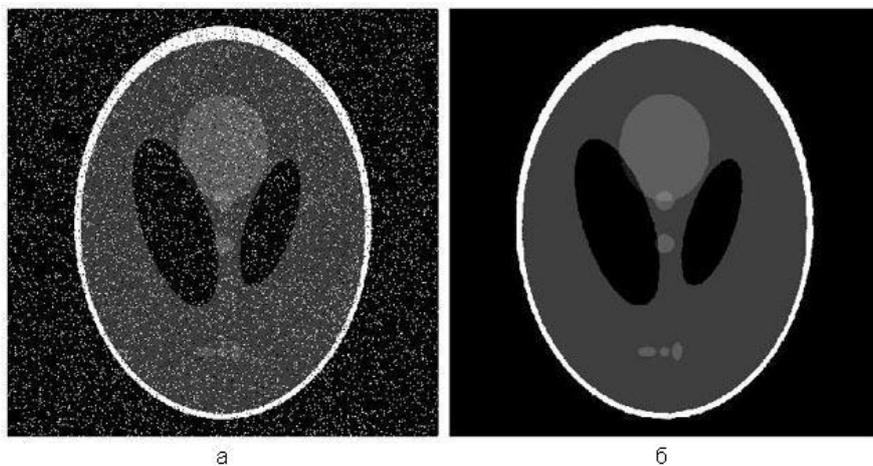


Рис. 3. Очистка изображения от случайной импульсной помехи

На рис. 3 приведены результаты обработки томограммы – фантома Шеппа-Логана в виде серого изображения из  $512 \times 512$  пикселей  $P = \text{phantom}(512)$  типа `double` со значениями интенсивности от 0 до 1. Сначала изображение `double P` было переведено в  $I1 = \text{uint8}(\text{round}(P * 255))$  со значениями интенсивности от 0 до 255. Затем на  $I1$  был наложен импульсный шум:  $I2 = \text{imnoise}(I1, 'salt \& pepper', 0.1)$  с плотностью шума  $d=0.1$  и получено зашумленное изображение  $I2$  (рис. 3а). Наконец, для очистки изображения  $I2$  от шума была использована медианная фильтрация:  $I3 = \text{medfilt2}(I2, [8 \ 8])$  с маской  $8 \times 8$  пикселей (рис. 3б). Видим, что зашумленная томограмма  $I2$  практически полностью отфильтровалась от шума.

#### Четвертый способ

Рассмотрим случай, когда на одном листе бумаги был написан или напечатан некоторый (исходный) текст, а на другом, подложенном снизу листе бумаги остался продавленный слабо видимый текст. Требуется восстановить с некоторой эффективностью исходный текст, располагая продавленным текстом. На рис. 4а приведен исходный продавленный текст в виде полутонового (серого) изображения  $750 \times 500$  пикселей.

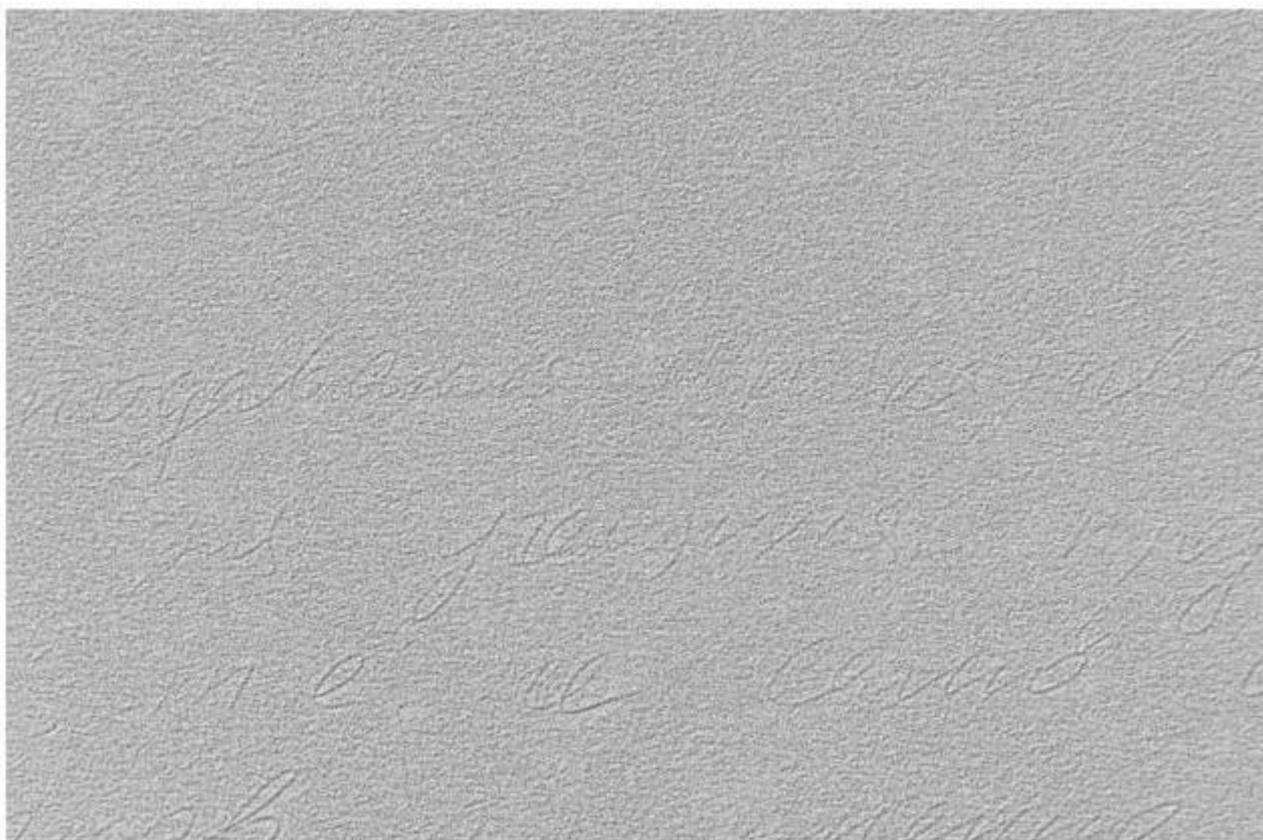


Рис. 4а. Продавленный текст

Видим, что текст с трудом просматривается. Попытки выделить текст на фоне помех такими методами, как винеровская, медианная и ранговая фильтрация, прямое и обратное косинус- и Фурье-преобразование, изменение яркости и контрастности и др., удовлетворительного результата не дают. Это связано с большим отношением шум/сигнал и с тем, что спектр шума мало отличается от спектра самого текста.

Предлагается *способ*, в основе которого лежит расфокусировка (свертка, композиция, суммирование) изображения по отрезкам прямых в несколько ( $len$ ) пикселей под

различными углами  $\text{deg}$ . Это позволяет снизить шум и одновременно выделить отдельные составляющие текста. Используются программы `fspecial` (двухмерный фильтр  $m$  для свертки с изображением на длине  $\text{len}$  пикселей под углом  $\text{deg}$ ), `imfilter` (фильтрация изображения фильтром  $m$ ), `imadd` (усреднение и суммирование изображений), `imadjust` (усиление контраста изображения) [3, 4] и др. В результате получается целое семейство изображений, каждое из которых несет определенную информацию о фрагменте текста. Объединение этих фрагментов позволяет выделить отдельные буквы; значительная часть шума при этом сглаживается. Все применяемые преобразования являются линейными и не приводят к появлению новых артефактов или к потере информации на изображении. Данный способ реализован в программе ( $m$ -файле) `motion1.m` (а также `motion2.m`) на MatLab'е 6.5. На рис. 46 приведен результат фильтрации продавленного текста по программе `motion1.m` ( $\text{len}=12$ ,  $\text{deg}=0,10,\dots,90$  град). Видим, что отфильтрованный текст смотрится значительно отчетливее, чем исходный продавленный текст.

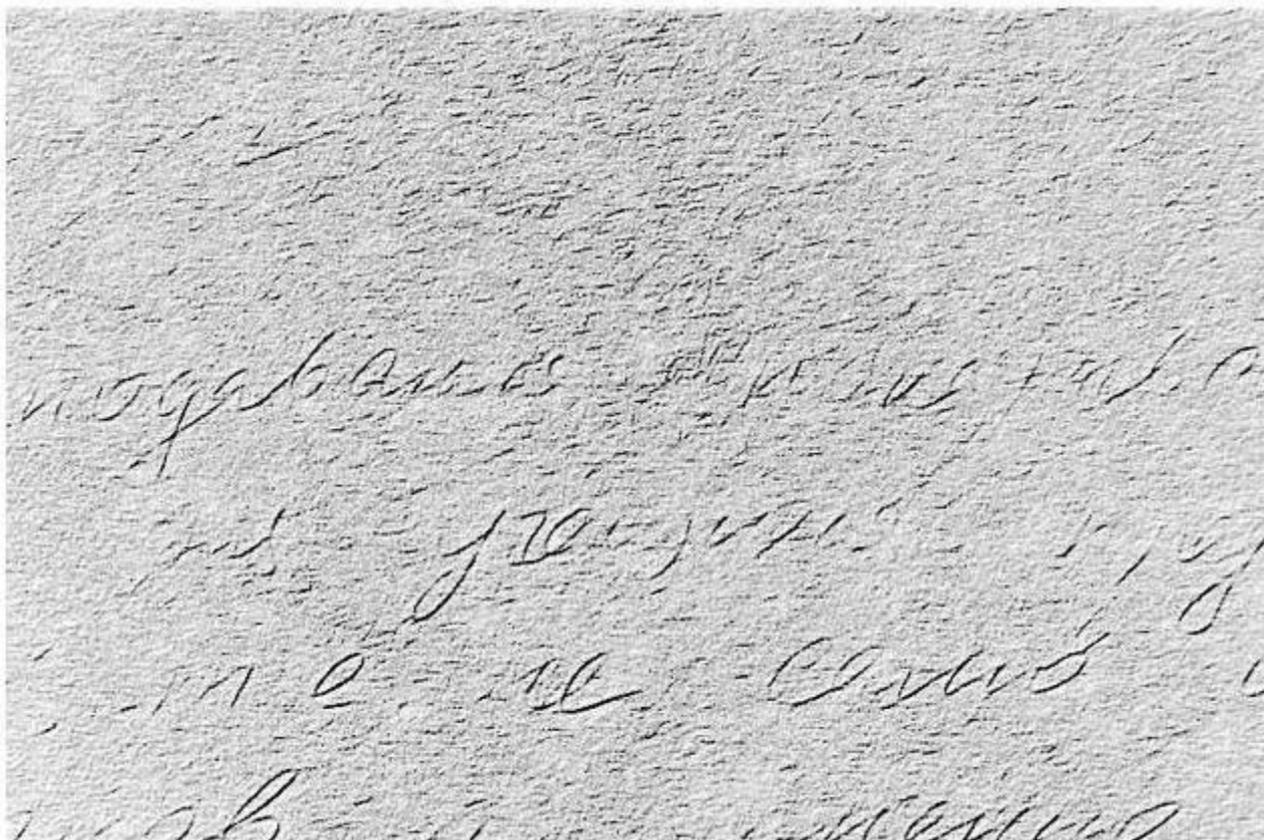


Рис. 46. Результат фильтрации продавленного текста

### Заключение

В данной работе предложено несколько новых способов устранения артефактов на изображениях. В 1-м способе мощная детерминированная деталь подавляется частично или полностью путем усечения ее интенсивности. Во 2-м способе для очистки изображения от мощной квазислучайной помехи, содержащей случайную и детерминированную компоненты, используются: фильтрация Винера, разбиение интенсивностей на три уровня, медианная и ранговая фильтрация и наложение очерненного и обеленного изображений. В 3-м способе для фильтрации умеренной случайной импульсной помехи достаточно использовать медианную фильтрацию. В 4-м способе для восстановления продавленного текста использована свертка (композиция, суммирование) изображения под различными углами. Данные способы продемонстрировали свою эффек-

тивность и могут быть рекомендованы для практического использования в РКТ (рентгеновской компьютерной томографии) [8, т. 1], [9], в МРТ (магнитно-резонансной томографии) [8, т. 2], [9], в обработке (восстановлении, реконструкции) искаженных изображений – текстов, старых фотографий, объектов природы, изображений космических объектов и т.д. [1, 9].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 05-08-01304-а).

### Литература

1. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. М.: Мир, 1989.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. В 2-х т. М.: Мир, 1982.
3. Рудаков П.И., Сафонов В.И. Обработка сигналов и изображений. MATLAB 5.x / Под общ. ред. В.Г. Потемкина. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000.
4. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. СПб: Питер, 2002.
5. Щекотин Д.С. Повышение устойчивости методов реконструкции распределений плотности в сечениях объектов в компьютерной томографии. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. СПб: СПбГУ ИТМО, 2005.
6. Shchekotin D., Sizikov V.S. Enhancement of tomographic image quality by means of a regularization method // Proc. Int. Topical Meeting on Optical Sensing and Artificial Vision. SPb, 2004, vol. 1, pp. 369–374.
7. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я., Рубашов И.Б., Тимонов А.А. Первый советский компьютерный томограф // Природа. 1984. № 4. С. 11–21.
8. Физика визуализации изображений в медицине. В 2-х т. / Под ред. С. Уэбба. М.: Мир, 1991.
9. Сизиков В.С. Математические методы обработки результатов измерений. СПб: Политехника, 2001.

# РЕШЕНИЕ ДВУХМЕРНОЙ КОЛЛИМАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСТАНДАРТНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Д.Д. Захаров, В.С. Сизиков, А.В. Смирнов, Б.А. Федоров

Сформулирована двухмерная задача о рентгеновском анизотропном рассеянии на объекте с использованием щелевого коллиматора и детектора. Выведено двухмерное сингулярное интегральное уравнение, связывающее истинную индикатрису рассеяния  $J$  с измеренной интенсивностью  $I$ . Уравнение приведено к нестандартной форме без сингулярности. Для его решения предложен итерационный метод. Дан численный пример.

## Введение

Учет коллимационных искажений при малоугловом изотропном рассеянии рентгеновских лучей является обычной практикой во многих лабораториях [1–4]. При изотропном рассеянии на объекте относительная простота одномерного интегрального уравнения, связывающего экспериментальную  $I$  и искомую  $J$  (свободную от коллимационных эффектов) интенсивности рассеяния, позволила развить ряд методов его решения [1–4]. Эта простота объясняется тем, что интенсивность рассеяния не зависит от ориентации рассеивающего объекта относительно первичного пучка и, следовательно, является функцией лишь одного параметра, пропорционального при малоугловом рассеянии углу рассеяния.

Задача усложняется, когда рассеяние происходит на анизотропном объекте. В этом случае измеренная интенсивность  $I$  зависит не только от угла рассеяния, но и от взаимной ориентации коллимационной щели и оси анизотропии рассеивающего объекта. При этом как экспериментальная  $I$ , так и искомая  $J$  интенсивности рассеяния становятся двухпараметрическими, что усложняет задачу восстановления  $J$  по измеренной  $I$ .

В мировой практике коллимационная задача, связанная с рассеянием на анизотропных объектах, еще не рассматривалась. Частично это связано с тем, что многие современные лаборатории оборудованы двухкоординатными детекторами, практически снимающими проблему учета коллимационных искажений, а частично – с трудностью ее математической формулировки и решения.

В настоящей работе впервые дана формулировка указанной двухпараметрической задачи, выведено интегральное уравнение, описывающее задачу, и предложен итерационный метод его решения. Эффективность метода проиллюстрирована численным примером.

## Постановка задачи

Для повышения светосилы установки для изучения рассеяния рентгеновских лучей на образце часто используют щелевые коллиматоры и детекторы (рис. 1), что в отличие от точечных источников и приемников приводит к искажению («размытию») кривой рассеяния [1–5]. Чтобы восстановить истинное угловое распределение интенсивности рентгеновского рассеяния  $J$ , которое было бы при точечном источнике и приемнике, нужно произвести коллимационный пересчет экспериментальной («размытой») интенсивности  $I$  [1, 3, 5–7].

Данная задача может быть *одномерной*, когда образец обладает изотропными свойствами. В этом случае обозначим через  $J(q)$  (или  $J(\theta)$ ) «истинную», неискаженную *интенсивность (индикатрису) рассеяния* рентгеновских лучей. Здесь  $q = (4\pi/\lambda) \sin(\theta/2)$ , где  $\theta$  – угол рассеяния, а  $\lambda$  – длина волны рентгеновских лучей.

Задача может быть и *двухмерной*, когда свойства образца зависят от угла  $\varphi$  поворота оси симметрии образца относительно коллимационной щели (рис. 1). В этом случае искомая индикатриса рассеяния будет функцией двух переменных:  $J = J(q, \varphi)$  (или  $J = J(\theta, \varphi)$ ).

Принципиальная *схема хода лучей* в рентгеновской камере представлена на рис. 1. Полагаем, что  $\theta \ll 1$  (рассматривается малоугловое рентгеновское рассеяние). Параллельные рентгеновские лучи, формируемые коллимационной щелью длиной  $2\Delta_1$ , падают на образец и рассеянные лучи, прошедшие через образец, регистрируются щелью детектора длиной  $2\Delta_2$ , расположенной под углом  $\theta$ . Использование щелей повышает светосилу установки, но регистрируемая щелью детектора интенсивность  $I = I(q, \varphi)$  будет отличаться от  $J = J(q, \varphi)$ , причем тем сильнее, чем больше длины щелей  $2\Delta_1$  и  $2\Delta_2$ .

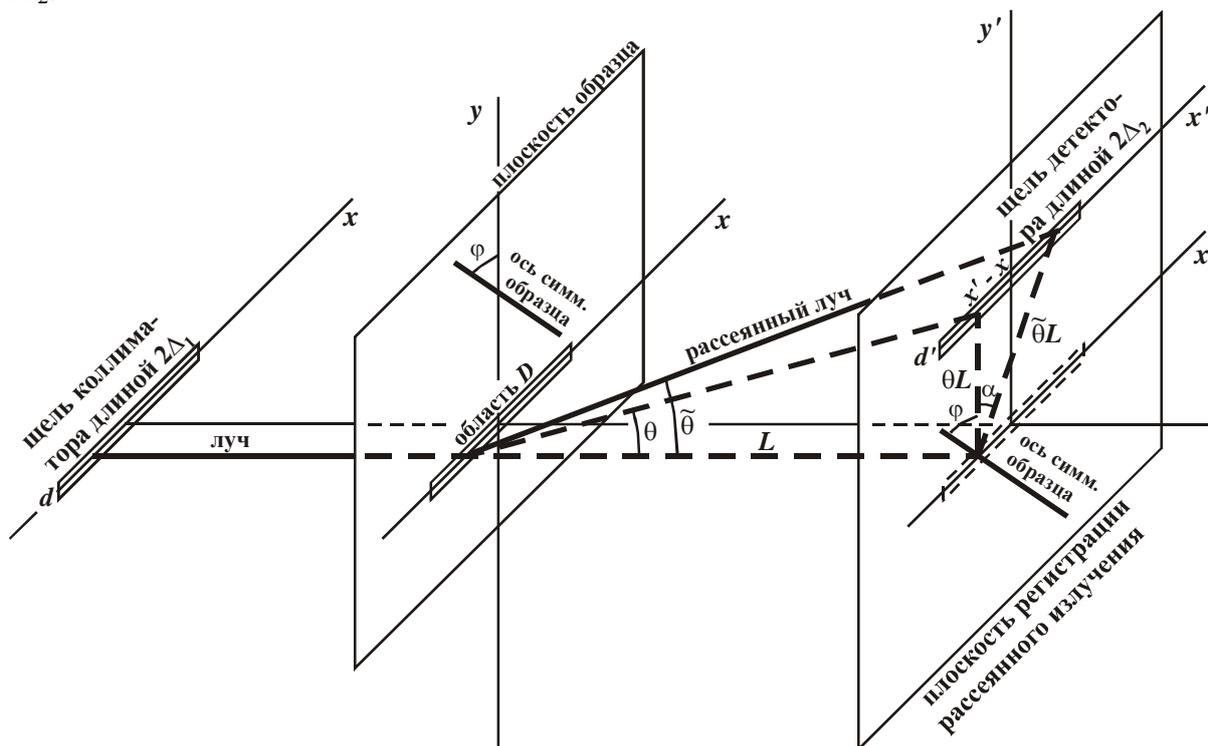


Рис. 1. Схема хода лучей в рентгеновской камере

Ставится задача: восстановить математическим путем истинную индикатрису рассеяния  $J$  по измеренной функции рассеяния  $I$ . В одномерном случае такая задача уже рассматривалась в работах [1, 3, 5–7] и др., поэтому в данной работе она рассматривается кратко. Что же касается двухмерной задачи, то она рассматривается впервые в данной работе.

### Одномерная задача

Пусть  $D$  – область (прямоугольник) рассеяния на образце,  $L$  – расстояние от образца до плоскости регистрации,  $d$  – ширина щели коллиматора,  $d'$  – ширина щели детектора,  $g(x)$  – распределение интенсивности вдоль щели коллиматора,  $u(x')$  – распределение чувствительности вдоль щели детектора. Тогда суммарная интенсивность, регистрируемая всей щелью детектора при некотором угле  $\theta$  и при  $d = d'$ , равна двойному интегралу по области  $D$  и по щели детектора (ср. [5]):

$$I(\theta) = \left( \frac{d}{L} \right)^2 \int_{-\Delta_1}^{\Delta_1} \left[ \int_{-\Delta_2}^{\Delta_2} J(\tilde{\theta}) u(x') dx' \right] g(x) dx, \quad (1)$$

где  $\tilde{\theta}$  – угол рассеяния от элемента  $dx$  области  $D$  в элемент  $dx'$  щели детектора.

Если распределения  $g(x)$  и  $u(x')$  равномерные, т.е.  $g(x) = \text{const}$  и  $u(x') = \text{const}$ , то соотношение (1) может быть преобразовано в выражение (ср. [5], формула (21)):

$$I(q) = 2 \int_0^{\sqrt{b^2 - q^2}} J(\sqrt{q^2 + x^2}) dx, \quad a \leq q \leq b, \quad (2)$$

где  $a = q_{\min} \geq 0$ ,  $b = q_{\max} > 0$ , или

$$2 \int_0^{\sqrt{b^2 - q^2}} J(\sqrt{q^2 + x^2}) dx = I(q), \quad a \leq q \leq b. \quad (3)$$

Соотношение (3) является *интегральным уравнением* I рода типа Вольтерра, записанным в *нестандартной форме*, поскольку в нем нет ядра в явном виде, искомая функция  $J$  зависит не от одного внутреннего аргумента  $x$ , а от комбинации аргументов  $\sqrt{q^2 + x^2}$  и верхний предел интегрирования является некоторой функцией  $q$ . Теория и методы решения подобных уравнений практически не разработаны. Можно лишь отметить работы физического характера [1, 3] и работы [5–7] с математическим уклоном.

Если ввести новую переменную  $s = \sqrt{q^2 + x^2}$ , то уравнение (3) примет вид:

$$2 \int_q^b \frac{s}{\sqrt{s^2 - q^2}} J(s) ds = I(q), \quad a \leq q \leq b. \quad (4)$$

Уравнение (4) является хорошо известным интегральным уравнением Абеля, принадлежащим к уравнениям типа Вольтерра I рода [8, с. 107], [9, с. 97]. Специфика уравнения (4) состоит в том, что оно является сингулярным: ядро  $s/\sqrt{s^2 - q^2}$  обращается в бесконечность при  $s = q$  и это создает определенные трудности при его численном решении [10].

Уравнение (4) имеет аналитическое решение [5], [9, с. 98], [10]

$$J(s) = -\frac{1}{\pi} \int_s^b \frac{I'(q)}{\sqrt{q^2 - s^2}} dq, \quad a \leq s \leq b. \quad (5)$$

Однако вычисления по формуле (5) вызывают следующие осложнения. Во-первых, в (5) входит производная  $I'(q)$  от экспериментальной, а значит, зашумленной функции  $I(q)$ . Дифференцирование же зашумленной функции является некорректной (сильно неустойчивой) задачей и требует применения специальных устойчивых методов (регуляризации, фильтрации, сплайн-аппроксимации и т.д.) [8, 9, 11, 12]. Во-вторых, интеграл в (5) является сингулярным и для своего численного вычисления требует, например, использования обобщенных квадратурных формул [10]. От сингулярности в (5) можно избавиться, если выполнить интегрирование по частям. В этом случае [5], [9, с. 99]

$$J(s) = \frac{1}{\pi} \int_s^b \sqrt{q^2 - s^2} \frac{d}{dq} \left[ \frac{1}{q} \frac{dI(q)}{dq} \right] dq, \quad a \leq s \leq b. \quad (6)$$

Однако решение (6) требует двукратного численного дифференцирования функции  $I(q)$ . Чтобы преодолеть отмеченные трудности, в работе [10] предложен метод численного решения уравнения (4) на основе обобщенной квадратурной формулы, а

также метод численного вычисления интеграла в выражении (5) по обобщенной квадратной формуле, учитывающей его сингулярность. А в работе [5] предлагается решать непосредственно нестандартное интегральное уравнение (3), причем решать его методом итераций.

В данной работе ниже, при рассмотрении двухмерной задачи, мы будем учитывать вышеизложенные особенности, характерные для одномерной задачи, и воспользуемся методом итераций (последовательных приближений) для решения двухмерной задачи.

### Двухмерная задача

Пусть рассеивающие свойства образца зависят от  $\varphi$  – угла поворота оси симметрии образца, т.е. искомая индикатриса рассеяния является функцией двух переменных:  $J = J(\theta, \varphi)$  или  $J = J(q, \varphi)$ . В этом случае суммарная интенсивность, регистрируемая щелью детектора, равна (ср. (1))

$$I(\theta, \varphi) = \left(\frac{d}{L}\right)^2 \int_{-\Delta_1}^{\Delta_1} \left[ \int_{-\Delta_2}^{\Delta_2} J(\tilde{\theta}, \tilde{\varphi}) u(x') dx' \right] g(x) dx, \quad (7)$$

где  $\tilde{\varphi} = \varphi + \alpha$  (см. рис. 1). При  $u(x') = \text{const}$  и  $g(x) = \text{const}$  выражение (7) может быть приведено к виду (ср. (2)):

$$I(q, \varphi) = \int_{-\sqrt{b^2 - q^2}}^{\sqrt{b^2 - q^2}} J\left(\sqrt{q^2 + x^2}, |\arctg(x/q) + \varphi|\right) dx, \quad a \leq q \leq b, \quad \varphi_{\min} \leq \varphi \leq \varphi_{\max}. \quad (8)$$

Выражение (8) является *интегральным уравнением* относительно  $J$  при известной (измеренной)  $I$ , записанным в *нестандартной форме*. Однако выражение (8) является неудобным для численной реализации, так как в нем аргумент  $\sqrt{q^2 + x^2}$  изменяется от  $b$  через  $q$  до  $b$ , т.е. немонотонно. Чтобы устранить этот недостаток, запишем (8) в виде:

$$\begin{aligned} I(q, \varphi) &= \\ &= \int_{-\sqrt{b^2 - q^2}}^0 J\left(\sqrt{q^2 + x^2}, |\arctg(x/q) + \varphi|\right) dx + \int_0^{\sqrt{b^2 - q^2}} J\left(\sqrt{q^2 + x^2}, |\arctg(x/q) + \varphi|\right) dx = \\ &= \int_0^{\sqrt{b^2 - q^2}} J\left(\sqrt{q^2 + x^2}, |\arctg(x/q) - \varphi|\right) dx + \int_0^{\sqrt{b^2 - q^2}} J\left(\sqrt{q^2 + x^2}, |\arctg(x/q) + \varphi|\right) dx, \end{aligned} \quad (9)$$

$a \leq q \leq b, \quad \varphi_{\min} \leq \varphi \leq \varphi_{\max}.$

### Метод итераций решения уравнения (9)

Для решения уравнения (9) предлагается, как и для решения уравнения (3) (см. [5]), использовать *метод итераций Фрийдмана* [8]:

$$\begin{aligned} J_l(q, \varphi) &= J_{l-1}(q, \varphi) + v \left[ I(q, \varphi) - \int_0^{\sqrt{b^2 - q^2}} J_{l-1}\left(\sqrt{q^2 + x^2}, |\arctg(x/q) - \varphi|\right) dx - \right. \\ &\quad \left. - \int_0^{\sqrt{b^2 - q^2}} J_{l-1}\left(\sqrt{q^2 + x^2}, |\arctg(x/q) + \varphi|\right) dx \right], \quad l = 1, 2, 3, \dots, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $0 < v < 2 / \|A\|$ . Норму оператора  $\|A\|$  можно оценить как (ср. [5])

$$\|A\| \approx 2\sqrt{b^2 - q^2} \leq 2b,$$

откуда

$$0 < v < 1/b. \quad (11)$$

Доказано [8, с. 272], что процесс итераций (10) сходится к точному решению в случае точной  $I(q, \varphi)$  при любом начальном приближении  $J_0(q, \varphi)$  и при выполнении (11). Если же  $I(q, \varphi)$  имеет погрешности, то процесс (10) расходится из-за некорректности задачи решения уравнения (9). В этом случае для выбора числа итераций можно воспользоваться известным *правилом останова по невязке* [8, с. 273–274], в которых число итераций согласуется с погрешностью измерений  $\delta$ . Однако в данной работе мы касаться этого правила пока не будем.

### Численный алгоритм

Численный алгоритм реализации схемы (10) является двухмерным обобщением итерационной схемы решения одномерного уравнения (2) или (3) согласно [5].

Введем равномерные совпадающие *сетки узлов дискретизации* по  $q$  и  $x$ :  $a, a + h1, \dots, b$ , где  $h1 = \Delta q = \Delta x = \text{const}$  – шаг дискретизации, или  $q_i = a + h1 \cdot i$ ,  $i = 0, 1, \dots, M$ ,  $x_k = a + h1 \cdot k$ ,  $k = 0, 1, \dots, M$ . Введем также равномерную *сетку узлов* по  $\varphi$ :  $\varphi_j = \varphi_0 + h2 \cdot j$ , где  $h2 = \Delta \varphi = \text{const}$  – шаг дискретизации по  $\varphi$ ,  $j = 0, 1, \dots, N$ .

Каждый из интегралов в (10) заменяем конечной суммой по формуле левых прямоугольников. При этом значения  $J_{l-1}(\sqrt{q^2 + x^2}, |\arctg(x/q) \mp \varphi|)$ , не попадающие в узлы дискретизации, заменяем на  $J_{l-1}(\text{nnd}[\sqrt{q^2 + x^2}], \text{nnd}[|\arctg(x/q) \mp \varphi|])$ , где через  $\text{nnd}[\cdot]$  обозначим значение ближайшего узла дискретизации (nearest node of discretization). В результате схема (10) в дискретном виде (при  $J_0(q, \varphi) = 0$ ) запишется как

$$\begin{aligned} J_0(q_i, \varphi_j) &= 0, \\ J_l(q_i, \varphi_j) &= J_{l-1}(q_i, \varphi_j) + v \left\{ I(q_i, \varphi_j) - h1 \sum_{k=0}^M J_{l-1} \left( \text{nnd} \left[ \sqrt{q_i^2 + x_k^2} \right], \text{nnd} \left[ |\arctg(x_k/q_i) - \varphi_j| \right] \right) - \right. \\ &\quad \left. - h1 \sum_{k=0}^M J_{l-1} \left( \text{nnd} \left[ \sqrt{q_i^2 + x_k^2} \right], \text{nnd} \left[ |\arctg(x_k/q_i) + \varphi_j| \right] \right) \right\}, \quad i = \overline{0, M}, \quad j = \overline{0, N}, \quad l = 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (12)$$

Разработана программа ITER2 на языке TurboC3 для решения уравнения (9) методом итераций согласно (12). С помощью программы ITER2 решен

### Пример

Для иллюстрации изложенной методики был решен численный пример. В нем *точное решение* задавалось в виде:

$$\bar{J}(q, \varphi) = \left( \frac{a}{q} \right)^2 \exp \left[ -\frac{(\varphi - \pi/2)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (13)$$

где  $\sigma = \pi/5$ ; параметры сетки узлов по  $q$ :  $a = q_{\min} = 5.5 \cdot 10^{-3}$ ,  $b = q_{\max} = 16.5 \cdot 10^{-3}$ , шаг  $h1 = \Delta q = 0.25 \cdot 10^{-3}$ , число шагов по  $q$  равно  $M = 44$ ; параметры сетки узлов по  $\varphi$ :  $\varphi_{\min} = 0$ ,  $\varphi_{\max} = \pi/2$ , шаг  $h2 = \Delta\varphi = \pi/90$ , число шагов по  $\varphi$  равно  $N = 45$ ;  $1/b = 60.6$  (см. (11)); множитель  $\nu = 30$ . На рис. 2 представлено точное решение  $\bar{J}(q, \varphi)$  и измеренная функция  $I(q, \varphi)$  (найденная путем численного интегрирования формулы (9)).

Для характеристики точности итерационного процесса в зависимости от номера итерации  $l$  введем следующие функции: относительная погрешность  $l$ -й итерации решения  $J_l(q, \varphi)$  по отношению к точному решению  $\bar{J}(q, \varphi)$ :

$$\varepsilon \equiv \varepsilon_{\text{отн}l} = \frac{\|J_l(q, \varphi) - \bar{J}(q, \varphi)\|_{L_2}}{\|\bar{J}(q, \varphi)\|_{L_2}}$$

и относительная разность между  $l$ -й и  $(l-1)$ -й итерациями:

$$\sigma \equiv \sigma_{\text{отн}l} = \frac{\|J_l(q, \varphi) - J_{l-1}(q, \varphi)\|_{L_2}}{\|J_l(q, \varphi)\|_{L_2}}.$$

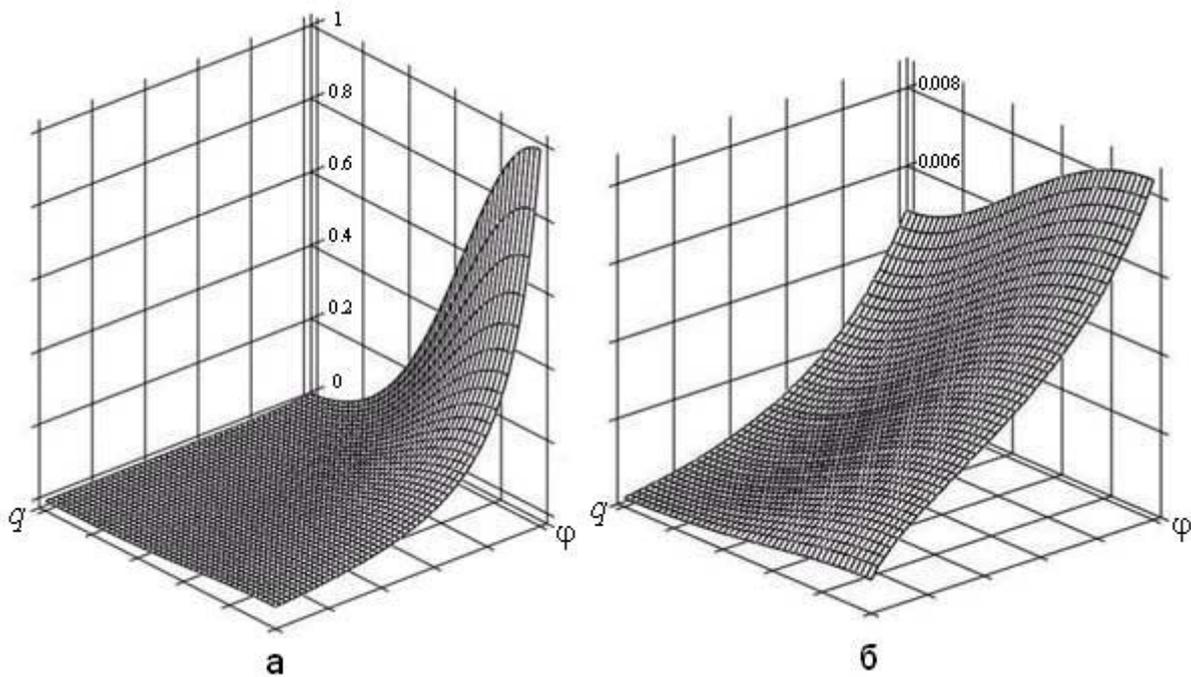


Рис. 2. Точное решение  $\bar{J}(q, \varphi)$  (а) и измеренная функция  $I(q, \varphi)$  (б)

На рис. 3 под цифрой 1 приведены полученные зависимости  $\varepsilon_{\text{отн}l}$  и  $\sigma_{\text{отн}l}$ . Имеем:  $\varepsilon = \min = 0.06730$  при  $l = 29$ ,  $\sigma = \min = 2.761 \cdot 10^{-3}$  при  $l = 25$ .

На рис. 4 приведено решение  $J_{29}(q, \varphi)$ , соответствующее минимуму  $\varepsilon_{\text{отн}l}$ .

Далее с помощью датчика случайных чисел RNDAN [9, с. 153] к значениям  $I(q, \varphi)$  были добавлены нормальные погрешности с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением  $\sigma_I = 0.0001$ , что соответствует относительной погрешности  $\|\Delta I\|/I = 0.03005 \approx 3\%$ . На рис. 5а приведена зашумленная  $\tilde{I}(q, \varphi)$ . На рис. 3 под цифрой 2 приведены зависимости  $\varepsilon_{\text{отн}l}$  и  $\sigma_{\text{отн}l}$ . Имеем:  $\varepsilon = \min = 0.1660$  при  $l = 9$ ,  $\sigma = \min = 0.01642$  при  $l = 15$ . На рис. 5б приведено решение  $J_9(q, \varphi)$ , соответствующее минимуму  $\varepsilon_{\text{отн}l}$ .

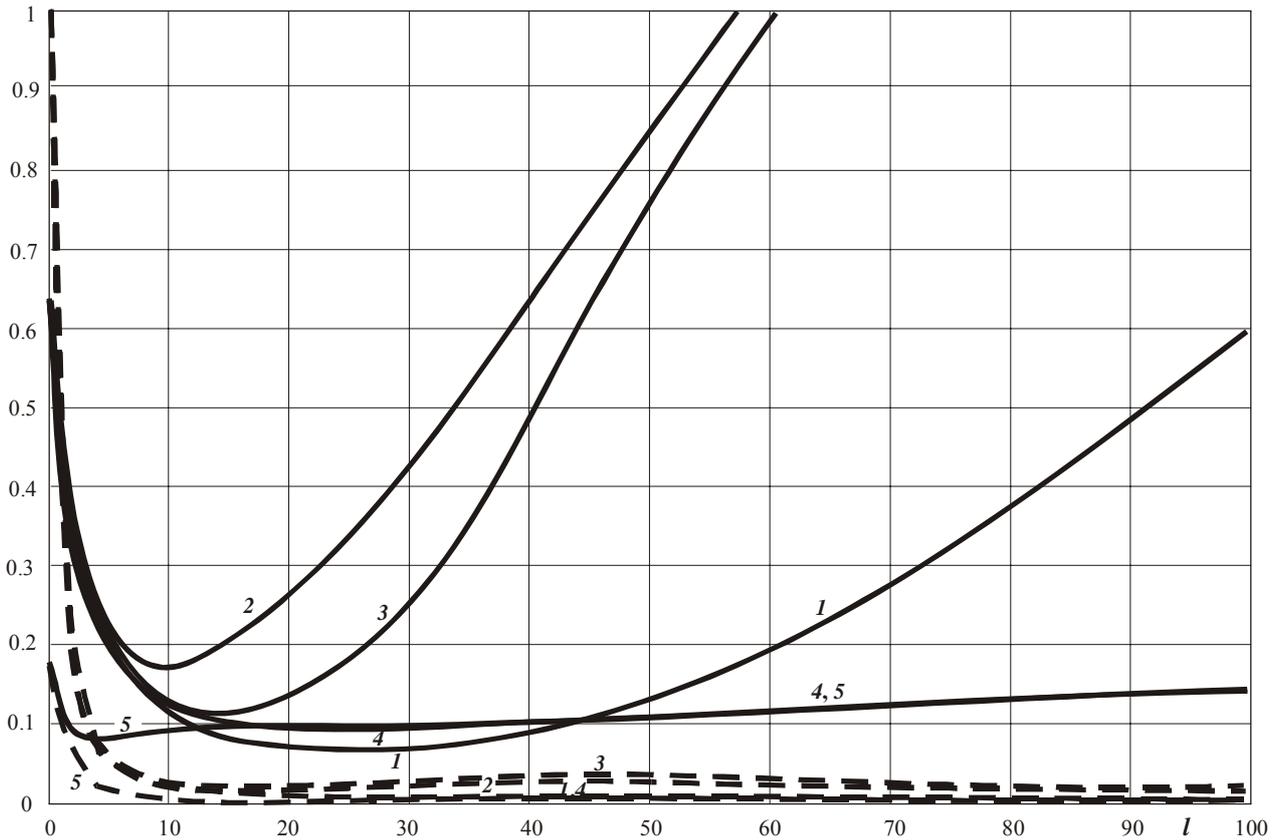


Рис. 3. Функции  $\varepsilon \equiv \varepsilon_{\text{отн}l}$  (непрерывные кривые) и  $\sigma \equiv \sigma_{\text{отн}l}$  (пунктирные кривые)

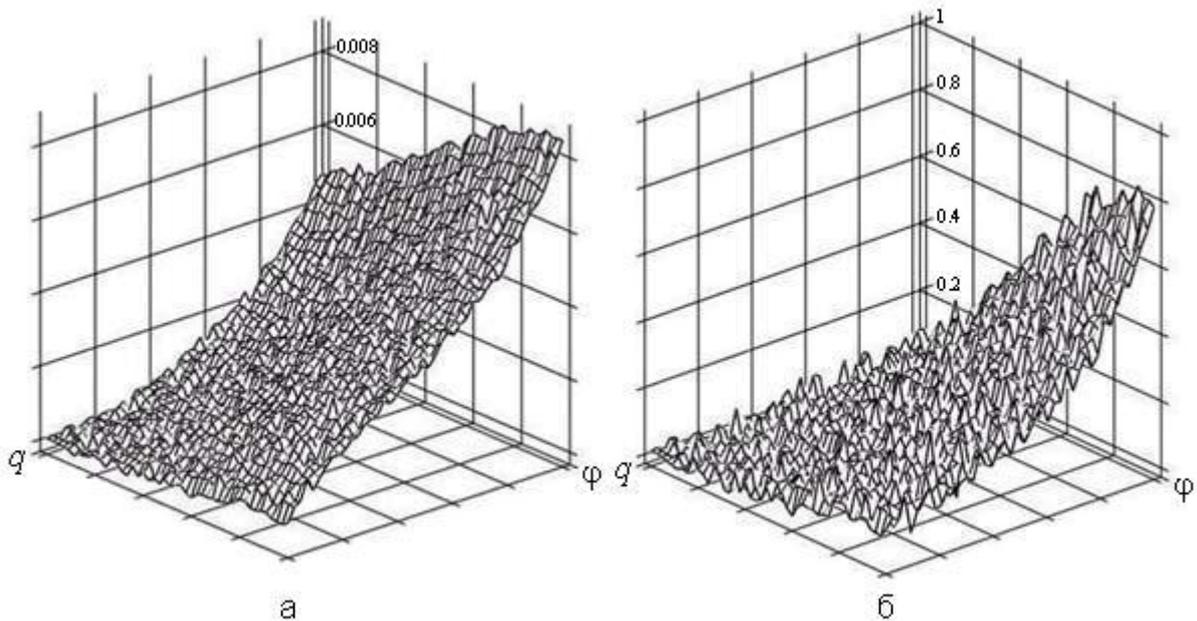


Рис. 5. Зашумленная  $\tilde{I}(q, \varphi)$  (а) и решение  $J_9(q, \varphi)$  (б)

Для улучшения решений  $J_l(q, \varphi)$  выполнено *сглаживание* функции  $\tilde{I}(q, \varphi)$  окном  $3 \times 3$ . На рис. 6а приведена сглаженная  $\tilde{I}(q, \varphi)$ , обозначенная как  $S(q, \varphi)$ . На рис. 3 под цифрой 3 приведены зависимости  $\varepsilon_{\text{отн}l}$  и  $\sigma_{\text{отн}l}$ . Имеем:  $\varepsilon = \min = 0.1125$  при  $l = 13$ ,

$\sigma = \min = 9.331 \cdot 10^{-3}$  при  $l = 16$ . На рис. 6б приведено решение  $J_{13}(q, \varphi)$ , соответствующее минимуму  $\varepsilon_{\text{отн}l}$ .

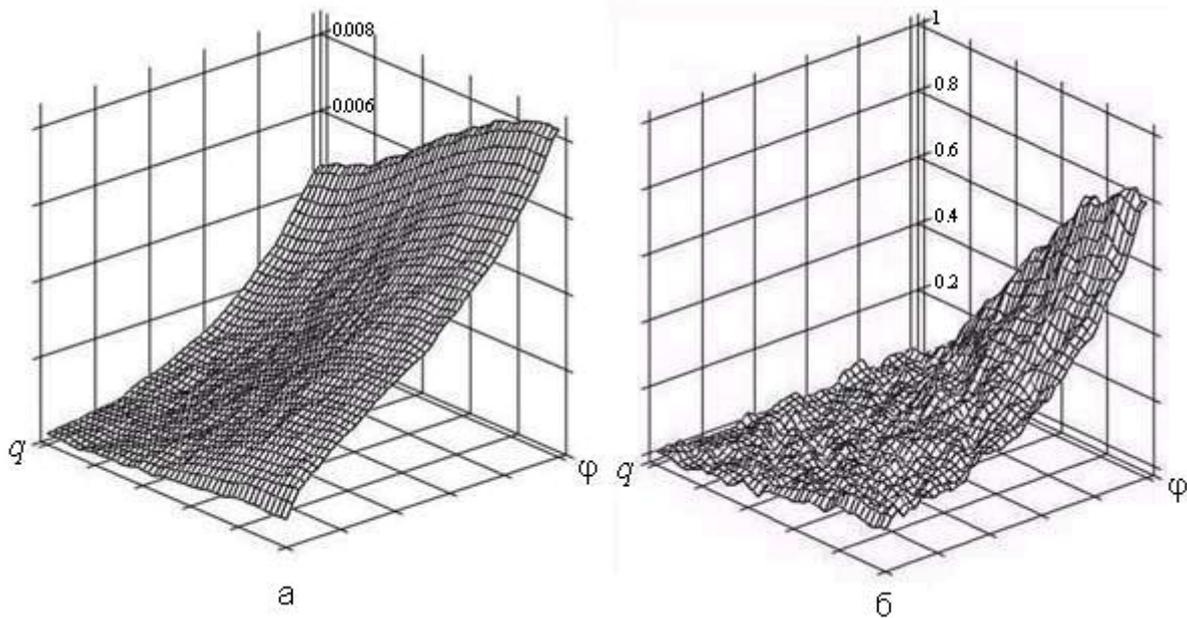


Рис. 6. Сглаженная  $\tilde{I}(q, \varphi) \equiv S(q, \varphi)$  (а) и решение  $J_{13}(q, \varphi)$  (б)

Для дальнейшего улучшения решений  $J_l(q, \varphi)$  выполнено *сглаживание* не только функции  $\tilde{I}(q, \varphi)$  окном  $3 \times 3$ , но и *сглаживание* решения  $J_l(q, \varphi)$  в каждой итерации (также окном  $3 \times 3$ ). На рис. 3 под цифрой 4 приведены зависимости  $\varepsilon_{\text{отн}l}$  и  $\sigma_{\text{отн}l}$ . Имеем:  $\varepsilon = \min = 0.09737$  при  $l = 28$ ,  $\sigma = \min \approx 8 \cdot 10^{-4}$  при  $l > 100$ . На рис. 7 приведено решение  $J_{28}(q, \varphi)$ , соответствующее минимуму  $\varepsilon_{\text{отн}l}$ .

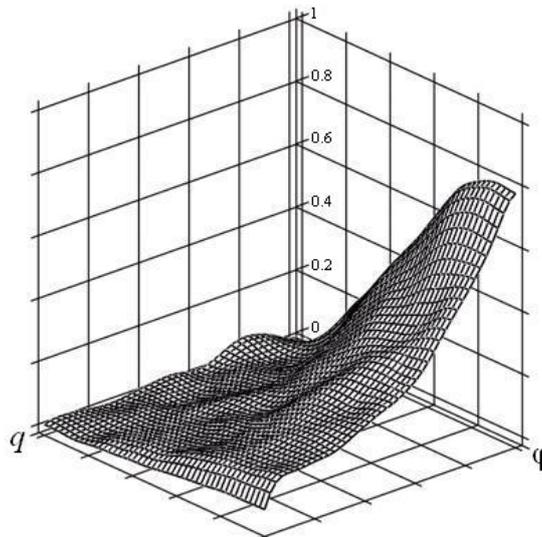


Рис. 7. Решение  $J_{28}(q, \varphi)$  при сглаживании  $\tilde{I}(q, \varphi)$  и  $J_l(q, \varphi)$

Отметим, что результаты, приведенные на рис. 4–7, получены при  $J_0(q, \varphi) = 0$ , т.е. при нулевом начальном приближении. Можно еще улучшить решения  $J_l(q, \varphi)$  за счет изменения начального приближения. Было использовано следующее начальное приближение:

$$\bar{J}(q, \varphi) = \left( \frac{6 \cdot 10^{-3}}{q} \right)^2 \exp \left[ - \frac{(\varphi - \pi/2 - \pi/90)^2}{2(\pi/4)^2} \right], \quad (14)$$

весьма близкое к искомому решению (13). На рис. 3 под цифрой 5 приведены зависимости  $\varepsilon_{\text{отн}l}$  и  $\sigma_{\text{отн}l}$ . Имеем:  $\varepsilon = \min = 0.08013$  при  $l = 3$ ,  $\sigma = \min = 2.266 \cdot 10^{-3}$  при  $l = 17$ . На рис. 8 приведено решение  $J_3(q, \varphi)$ , соответствующее минимуму  $\varepsilon_{\text{отн}l}$ .

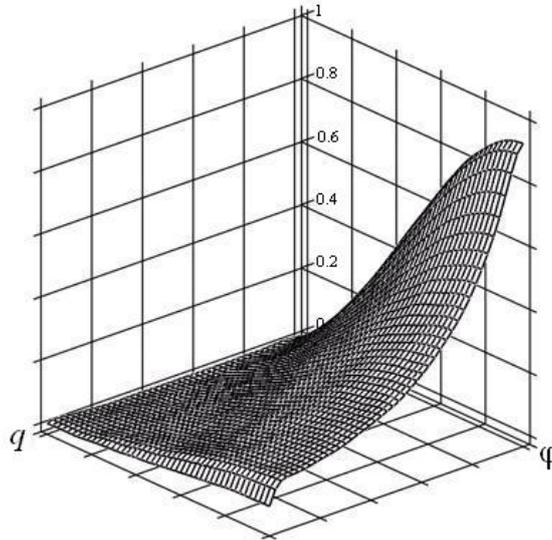


Рис. 8. Решение  $J_3(q, \varphi)$  при сглаживании  $\tilde{I}(q, \varphi)$  и  $J_l(q, \varphi)$  и начальном приближении (14)

### Заключение

Сформулирована двумерная задача о анизотропном рентгеновском рассеянии на объекте, когда измеренная интенсивность  $I$  и искомая индикатриса рассеяния  $J$  зависят от угла рассеяния  $\theta$  и от угла поворота оси симметрии образца  $\varphi$ . Для восстановления  $J$  по экспериментальной  $I$  выведено двумерное сингулярное интегральное уравнение. Уравнение приведено к нестандартной форме без сингулярностей. Для его решения предложен итерационный метод. Приведен численный пример.

Результаты решения численного примера, а также ряда других (неприведенных в работе) примеров показывают следующее. Применение итерационной схемы Фридмана (10)–(12) для решения неклассического двумерного интегрального уравнения (9) является весьма эффективным. Выбор оптимального числа итераций  $n_{\varepsilon \text{opt}}$ , соответствующего минимуму функции  $\varepsilon \equiv \varepsilon_{\text{отн}l}$ , на практике невозможен, так как эта функция включает в себя точное (неизвестное) решение  $\bar{J}(q, \varphi)$ . На практике можно использовать лишь функцию  $\sigma \equiv \sigma_{\text{отн}l}$ . Как показывает рис. 3 и решение других примеров, число итераций  $n_{\sigma \text{opt}}$  в среднем несколько больше  $n_{\varepsilon \text{opt}}$ , тем не менее,  $n_{\sigma \text{opt}}$  можно использовать для оценки  $n_{\varepsilon \text{opt}}$ . Точность итерационного решения  $J_l(q, \varphi)$  повышается при использовании сглаживания измеренной функции  $\tilde{I}(q, \varphi)$  и итерационных решений  $J_l(q, \varphi)$ , а также при приближении начального приближения  $J_0(q, \varphi)$  к искомому решению.

## Литература

1. Guinier A., Fournet G. Small-angle scattering of X-rays. – NY: Wiley, 1955.
2. Федоров Б.А. Учет коллимационных искажений при малоугловом рассеянии рентгеновых лучей. Поправка на высоту щелей // Кристаллография. 1968. Т. 13, № 5. С. 763–769.
3. Schelten J., Hossfeld F. Application of spline functions to the correction of resolution errors in small-angle scattering // J. Appl. Cryst. 1971. Vol. 4. P. 210–223.
4. Мельничук А.П., Прищепенок О.Б., Смирнов А.В., Федоров Б.А. Прецизионная юстировка камеры Краткого и программа первичной обработки данных рентгеновского малоуглового рассеяния // Изв. вузов. Приборостроение. 2002. Т. 45, № 7. С. 48–54.
5. Сизиков В.С., Смирнов А.В., Федоров Б.А. Решение одномерной коллимационной задачи оценки рентгеновского изотропного рассеяния излучения методом итераций // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т. 48, № 10. С. 44–52.
6. Добровольский В.А., Горилловский Д.А., Сизиков В.С., Смирнов А.В., Федоров Б.А. Модификация метода квадратур численного решения интегрального уравнения Абеля с учетом его сингулярности // В сб. научн. статей «Современные технологии» под ред. С. А. Козлова. СПб: СПбГИТМО(ТУ), 2001. С. 121–126.
7. Горилловский Д.А., Добровольский В.А., Сизиков В.С., Смирнов А.В., Федоров Б.А. Решение интегрального уравнения Абеля в нестандартной форме методом итераций // В сб. научн. статей «Современные технологии» под ред. С. А. Козлова. СПб: СПбГИТМО(ТУ), 2001. С. 127–134.
8. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы. Киев: Наук. думка, 1986.
9. Сизиков В.С. Математические методы обработки результатов измерений. СПб: Политехника, 2001.
10. Сизиков В.С., Смирнов А.В., Федоров Б.А. Численное решение сингулярного интегрального уравнения Абеля обобщенным методом квадратур // Изв. вузов. Математика. 2004. № 8(507). С. 62–70.
11. Петров Ю.П., Сизиков В.С. Корректные, некорректные и промежуточные задачи с приложениями. СПб: Политехника, 2003.
12. Petrov Yu.P., Sizikov V.S. Well-Posed, Ill-Posed, and Intermediate Problems with Applications. Leiden–Boston: Brill Acad. Publishers, VSP et al., 2005.

# ДВИЖЕНИЕ ТЯЖЕЛОГО (ДЕФОРМИРУЕМОГО) ТВЕРДОГО ТЕЛА ОКОЛО НЕПОДВИЖНОЙ ТОЧКИ В ОБЩЕМ СЛУЧАЕ

К.В. Мануйлов, А.А. Курбатов, И.С. Гомонов

В работе построены уравнения Эйлера, описывающие движение тяжелого твердого тела около неподвижной точки, происходящее под действием внешних сил, заставляющих его центр тяжести двигаться по любой алгебраической (механической) пространственной кривой, а так же уравнения движения тяжелого деформируемого тела около неподвижной точки, и найдены все интегралы перечисленных движений и точные решения этих уравнений, а так же уравнения соответствующих эллипсоидов Пуансо.

Решение задачи о движении тяжелого твердого тела около неподвижной точки под действием внешних сил в общем случае является чрезвычайно важным для построения аналитического описания движений трудно обозримого множества различных динамических систем, начиная от движения корабля на волнении [1] и кончая движением систем с большим числом степеней свободы. Кроме того, полные уравнения такого движения, описывающие поведение угловых скоростей, дают возможность построить решения чрезвычайно широкого класса нестационарных уравнений математической физики [2] и в том числе уравнений, описывающих движение жидкости, обтекающей движущееся в ней твердое тело [3]. Однако, как мы уже отмечали в работе [3], даже задача о движении тяжелого твердого тела относительно неподвижной точки в общем случае считается до сих пор неразрешимой в квадратурах (см.[4, 5]).

Выражение кинематических параметров, описывающих движение тяжелого твердого тела около неподвижной точки – угловые скорости  $\omega_i$  и направляющие косинусы  $\alpha_{ij}$ , являющиеся решениями уравнений Эйлера

$$A_i D\omega_i + (A_k - A_j)\omega_j\omega_k = F_g(x_{j0}\alpha_{3k} - x_{k0}\alpha_{3j}), \quad (1)(a)$$

$$\left. \begin{aligned} D\alpha_{i1} &= \omega_2\alpha_{i3} - \omega_3\alpha_{i2} \\ D\alpha_{i2} &= \omega_3\alpha_{i1} - \omega_1\alpha_{i3} \\ D\alpha_{i3} &= \omega_1\alpha_{i2} - \omega_2\alpha_{i1} \end{aligned} \right\}, \quad (1)(b)$$

где  $A_i$  – моменты инерции,  $\omega_i$  – угловые скорости относительно движущихся и неподвижных осей,  $\alpha_{ij}$  – направляющие косинусы,  $x_{i0}$  – координаты центра тяжести,  $F_g$  – сила тяжести, а также уравнений,

$$A_i D_t \omega_i + (A_k - A_j)\omega_j\omega_k = \sum_{l=1}^3 F_l(x_{j0}\alpha_{lk} - x_{k0}\alpha_{lj}), \quad (2)$$

где  $F_l$  – составляющие равнодействующей системы внешних сил, описывающих движение тяжелого твердого тела около неподвижной точки под действием общей системы внешних сил (см. [3]). (Аналогичные уравнения справедливы для угловых скоростей, определенных относительно неподвижных осей). Выражения кинематических параметров движения тяжелого твердого тела относительно неподвижной точки в общем случае представлены шестью нечетными тригонометрическими функциями алгебраической кривой рода два, задающими угловые скорости относительно движущихся и неподвижных осей, каковые суть отношения тэта-функций второго порядка от двух переменных вида

$$\omega_i = \frac{\theta'_i \theta_i(v_1, v_2)}{\theta\theta(v_1, v_2)}, \quad \bar{\omega}_i = \frac{\theta'_{i+3} \theta_{i+3}(v_1, v_2)}{\theta\theta(v_1, v_2)}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (3)$$

а направляющие косинусы  $\alpha_{ij}$  – девятью четными:

$$\frac{\theta_{kl} \theta_{kl}(v_1, v_2)}{\theta\theta(v_1, v_2)}, \quad k = 1, 2, 3, \quad l = 4, 5, 6. \quad (4)$$

Функции (3), (4) естественно входят в выражения шести классических интегралов движения:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^3 A_i \omega_i^2 - 2B(t) \sum_{i=1}^3 x_{i0} \alpha_{3i} &= h \quad (a) \\ \sum_{i=1}^3 A_i^2 \omega_i^2 - 2B(t) \sum_{i=1}^3 x_{i0} E_i \alpha_{3i} &= H^2 \quad (b) \end{aligned} \right\}, \quad (5.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{ij=1}^3 A_i \omega_i \alpha_{ij} &= l_j \quad (a) \\ \sum_{i=1}^3 A_i^2 \omega_i \alpha_{ji} &= L_j \quad (b) \end{aligned} \right\}, \quad (5.1')$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^3 \alpha_{ij}^2 &= \sum_{j=1}^3 \alpha_{ij}^2 = \sum_{i=1}^3 \alpha_{ii}^2 = 1 \quad (a) \\ \sum_{ijk=1}^3 \alpha_{ij} \alpha_{ik} &= 0 \quad (b) \end{aligned} \right\}. \quad (5.2)$$

Интегралами движения также являются поверхность Куммера  $K_2^4$ , имеющая четвертый порядок по  $\omega_i$  ( $\alpha_{ij}$ ), характеристическая поверхность, являющаяся поверхностью Римана рода 2 шестого порядка  $K_2^6$ , и многообразие Якоби  $J_2^8$  – восьмого порядка [3]. Дифференциальные уравнения Эйлера (1)–(2) получаются посредством прямого дифференцирования функций (3)–(5), т.е. в соответствии со следующим из общей теории конических сечений определением решения обыкновенного дифференциального уравнения [2].

*Определение 1.* Решением обыкновенного дифференциального уравнения порядка  $n$  является функция,  $n$ -я производная от которой дает полное алгебраическое выражение данного дифференциального уравнения с точностью до размерных коэффициентов.

Действительно, производные от отношений четных тэта-функций второго порядка (4) [3] определены уравнениями

$$\left. \begin{aligned} D_t \alpha_{i1} &= \omega_2 \alpha_{i3} - \omega_3 \alpha_{i2} \\ D_t \alpha_{i2} &= \omega_3 \alpha_{i1} - \omega_1 \alpha_{i3} \\ D_t \alpha_{i3} &= \omega_1 \alpha_{i2} - \omega_2 \alpha_{i1} \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

совпадающими с уравнениями (1)(a) и (2), а производные от отношений нечетных тэта-функций второго порядка в общем случае, имеющие вид

$$\left. \begin{aligned} D\omega_1 &= -\frac{\theta\theta_{14}\mathbf{c}_1\mathbf{c}_4}{\theta_{24}\theta_{34}\mathbf{c}_2\mathbf{c}_3} \omega_2 \omega_3 - \sum_{i=1}^3 \frac{\theta^2 \mathbf{c}_1^2}{\theta_{2,i+3}^2 \theta_{3,i+3}^2} \alpha_{i2} \alpha_{i3} = \alpha_1 \omega_2 \omega_3 + \sum_{l=1}^3 \beta_{l23} \alpha_{l2} \alpha_{l3} \\ D\omega_2 &= \frac{\theta\theta_{24}\mathbf{c}_2\mathbf{c}_4}{\theta_{14}\theta_{34}\mathbf{c}_1\mathbf{c}_3} \omega_1 \omega_3 - \sum_{i=1}^3 \frac{\theta^2 \mathbf{c}_2^2}{\theta_{1,i+3}^2 \theta_{3,i+3}^2} \alpha_{i1} \alpha_{i3} = \alpha_2 \omega_1 \omega_3 + \sum_{l=1}^3 \beta_{l23} \alpha_{l1} \alpha_{l3} \\ D\omega_3 &= -\frac{\theta\theta_{34}\mathbf{c}_3\mathbf{c}_4}{\theta_{14}\theta_{24}\mathbf{c}_1\mathbf{c}_2} \omega_1 \omega_2 - \sum_{i=1}^3 \frac{\theta^2 \mathbf{c}_3^2}{\theta_{1,i+3}^2 \theta_{2,i+3}^2} \alpha_{i1} \alpha_{i2} = \alpha_3 \omega_1 \omega_2 + \sum_{l=1}^3 \beta_{l23} \alpha_{l1} \alpha_{l2} \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Равенства (7), как мы отмечали в [3], не суть уравнения Эйлера, но лишь алгебраические выражения производных от нечетных тригонометрических функций алгебраической кривой рода 2. Для преобразования их в уравнения Эйлера, описывающие движения тяжелого твердого тела около неподвижной точки, необходимо переопределить постоянные  $\beta_{ijk}$ :

$$\beta_{3jk} \alpha_{3j} \alpha_{3k} = \frac{F(b_j - b_k)}{A_i b_j b_k} \alpha_{3j} \alpha_{3k} = \frac{F}{A_i} (x_{j0} \alpha_{3k} - x_{k0} \alpha_{3j}), \quad (8)$$

где  $b_j = x_{j0} \cdot \alpha_{3k}$ ,  $F$  – составляющая постоянной по направлению внешней силы, включающая периодически изменяющуюся силу тяжести  $F_g = -\gamma \frac{mM}{R_{T3}^2}$ . Такое переопределение

преобразует правые части уравнений (7) в правые части уравнений (1)(а) и (2), и уравнения (7) без учета внешних сил, кроме силы тяжести, совпадут с уравнениями (1)(а)

$$D\omega_i = \alpha_i \omega_j \omega_k + \frac{F_g}{A_i} (x_{j0} \alpha_{3k} - x_{k0} \alpha_{3j}). \quad (9)$$

Из этого переопределения следует неразрешимость уравнений (9) при постоянной силе тяжести, ибо если предположить, как это сделано практически во всех мемуарах, посвященных движению тяжелого твердого тела около неподвижной точки, кроме эйлеровых [6], что сила тяжести  $F_g$  является величиной постоянной, то мы обнаружим, что постоянными являются все направляющие косинусы  $\alpha_{ij}$ , (а, следовательно, и угловые скорости  $\omega_i$  (*sic!*)), что с необходимостью следует из системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \beta_{3(23)} \alpha_{32} \alpha_{33} &= \frac{\theta^2 \mathbf{c}_1^2}{\theta_{24}^2 \theta_{34}^2} \alpha_{32} \alpha_{33} = \frac{F_g}{A_1} (x_{20} \alpha_{33} - x_{30} \alpha_{32}) \\ \beta_{3(13)} \alpha_{31} \alpha_{33} &= \frac{\theta^2 \mathbf{c}_1^2}{\theta_{14}^2 \theta_{34}^2} \alpha_{31} \alpha_{33} = \frac{F_g}{A_2} (x_{30} \alpha_{31} - x_{10} \alpha_{33}) \\ \beta_{3(12)} \alpha_{31} \alpha_{32} &= \frac{\theta^2 \mathbf{c}_1^2}{\theta_{14}^2 \theta_{24}^2} \alpha_{31} \alpha_{32} = \frac{F_g}{A_2} (x_{10} \alpha_{32} - x_{20} \alpha_{31}) \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Если  $F_g = mg$ ,  $A_i = const$ , то направляющие косинусы выражаются через  $x_{i0}$ ,  $F_g$ ,  $\beta_{3jk}$  и  $A_i$ . Отсюда с необходимостью следует, что  $\alpha_{ij}$  суть постоянные, а, следовательно, сила тяжести должна быть периодической функцией времени. Таким образом, в результате переопределения уравнения Эйлера (7) представлены нами как уравнения вида

$$D\omega_i = \alpha_i \omega_j \omega_k + \sum_{i,j,k=1}^3 \frac{F_i(t)}{A_i} (x_{j0}(t) \alpha_{3k} - x_{k0}(t) \alpha_{3j}) \quad (11)$$

с переменными коэффициентами, так как величины  $x_i$  и  $A_i$  представляют собой периодические или аperiodические функции времени. Следовательно, все кинематические параметры являются периодическими функциями с периодически или аperiodически изменяющимися периодами (в силу периодического изменения силы тяжести, как при постоянных  $x_{i0}$  так и при  $x_{i0}(t)$ ).

Таким образом, уравнения (11) описывают движение твердого тела под действием общей системы сил, содержащей силы, сопротивляющиеся движению, а потому для построения уравнений Эйлера посредством дифференцирования кинематических параметров, в соответствии с *Определением I*, мы должны брать от них полные производные по переменным  $u_i$ ,  $\kappa_1$ ,  $\kappa_2$  и  $\kappa_3$ , из коих  $u_i$  суть линейные функции времени, а  $\kappa_1$  – квадратичные, выражающиеся через начальные условия (см. [3]). Эти уравнения имеют вид

$$\begin{aligned} A_i \frac{\partial \tilde{\omega}_i}{\partial t} + A_i \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \tilde{\omega}_i}{\partial \kappa_j} \frac{\partial \kappa_j}{\partial t} &= (A_j - A_k) \omega_j \omega_k + \sum_{i=1}^3 \beta_{i23}(u) \alpha_{i2} \alpha_{i3} + A_i \left[ D_i \ln A_i + \frac{1}{\mathbf{c}_i} \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \mathbf{c}_i}{\partial \kappa_j} D_i \kappa_j \right] \omega_i - \\ &- A_i \sum_{ijk=1}^3 f_1(\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3) \left\{ \gamma_{11} \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial t^2} + 2\gamma_{12} D_{u_i} \ln \theta(u_1, u_2) D_{u_i} \omega_i + \frac{2\gamma_{13}}{|K|} \sum_{i=1}^2 \frac{\partial \omega_i}{\partial t} \left[ \sum_{i=1}^3 (u_i \kappa_{li} + \right. \right. \\ &\left. \left. + u_2 \kappa_{2li}) \kappa_i \kappa_i^2 \right] \right\} D_i \kappa_j - A_i \sum_{ijk=1}^3 f_2(\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3) \left\{ 2\gamma_{21} \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial u_1 \partial t} + 2\gamma_{22} \sum_{i=1}^2 D_{u_i} \ln \theta(u_1, u_2) D_{u_i} \omega_i + \right. \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{2\gamma_{23}}{|K|} \sum_{l=1}^2 \frac{\partial \omega_l}{\partial u_l} \left[ \sum_{i=1}^3 (u_1 \kappa_{li} + u_2 \kappa_{2li}) \kappa_i \kappa_i^2 (\kappa_j^2 + \kappa_k^2) \right] \Bigg\} D_l \kappa_j - A_l \sum_{ijk=1}^3 f_3(\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3) \left\{ \gamma_{31} \frac{\partial^2 \omega_l}{\partial u_2^2} + \right. \\
& \left. + 2\gamma_{32} D_{u_2} \ln \theta(u_1, u_2) D_{u_2} \omega_l + \frac{2\gamma_{33}}{|K|} \sum_{l=1}^2 \frac{\partial \omega_l}{\partial u_l} \left[ \sum_{i=1}^3 (u_1 \kappa_{li} + u_2 \kappa_{2li}) \kappa_i \kappa_i^2 \kappa_j^2 \kappa_k^2 \right] \right\} D_l \kappa_j,
\end{aligned}$$

где  $\alpha_{ij}$  – направляющие косинусы,  $c_i$  – коэффициенты, входящие в выражения угловых скоростей (3);  $\gamma_{ij}$  суть функции времени, определенные свойствами тяжелого тела;  $\kappa_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ , суть модули, выражающиеся через начальные условия;

$$\left. \begin{aligned}
\kappa_{i11} &= K_{22} \frac{\partial K_{11}}{\partial \kappa_i} - K_{21} \frac{\partial K_{12}}{\partial \kappa_i} & \kappa_{i12} &= -K_{12} \frac{\partial K_{11}}{\partial \kappa_i} + K_{11} \frac{\partial K_{12}}{\partial \kappa_i} \\
\kappa_{i21} &= K_{22} \frac{\partial K_{21}}{\partial \kappa_i} - K_{21} \frac{\partial K_{22}}{\partial \kappa_i} & \kappa_{i22} &= -K_{12} \frac{\partial K_{21}}{\partial \kappa_i} + K_{11} \frac{\partial K_{22}}{\partial \kappa_i}
\end{aligned} \right\}, \quad (13)$$

$$|K| = K_{11} K_{22} - K_{12} K_{21},$$

где  $K_{ij}$  суть полные абелевы интегралы I рода ранга два (см. [3, 7]). Слагаемые, стоящие в квадратных скобках в уравнениях (12), представляют собой квазипериодические функции времени, определяющие необратимые изменения движения, возникающие в результате деформируемости тела или действия внешних сил сопротивления (трение в точке опоры). Все постоянные, входящие в функции  $\square_i$  и  $\square_{ij}$  и интегралы рода I ранга 2, определяющие их периоды, выражаются через кинематические и динамические начальные условия.

Таким образом, при наличии трения в точке опоры или при условии, что тело будет реально конечно деформируемым, а также при движении центра тяжести относительно неподвижной точки по неподвижной пространственной кривой, т.е. при  $x_{i0} = x_{i0}(t)$  (см. [1]), его движение будет описываться уравнениями (12) и будет затухающим. В предположении упругости, реальной деформируемости или же сложного движения центра тяжести относительно неподвижной точки тело испытывает периодические колебания, геометрия которых определена системой поверхностей, подобных волновым, которые определены аналитическими выражениями коэффициентов уравнения степени шесть (см. [8]). Ввиду изменения модулей  $\kappa_i$  и периодов функций (4)–(5) все интегралы движения, кроме (5.1'), будут представлять собой величины, периодически изменяющиеся во времени. Для образования из них постоянных величин необходимо рассмотреть еще одно твердое тело, таким образом двигающееся около неподвижной точки, чтобы величины (5.1), (5.1') изменялись бы в противофазе с первыми, тогда их суммы будут строго постоянными.

Построим теперь геометрическое представление движения тяжелого тела относительно неподвижной точки аналогично геометрическому представлению движения твердого тела относительно неподвижного центра тяжести [9]. Аналитические выражения двух эллипсоидов Пуансо, дающих геометрическое представление движения тяжелого твердого тела около неподвижной точки, представляющих собой эллипсоиды с периодически изменяющимися полуосями, определенные равенствами

$$\sum_{i=1}^3 \frac{x_i^2}{a_i^2} = 1, \quad \sum_{i=1}^3 \frac{x_i^2}{\bar{a}_i^2} = 1, \quad (14)$$

$$a_i^2 = \frac{h + 2B(t) \sum_{i=1}^3 x_{i0} \alpha_{3i}}{A_i}, \quad \bar{a}_i^2 = \frac{H^2 + 2B(t) \sum_{i=1}^3 x_{i0} E_i \alpha_{3i}}{A_i^2}, \quad (15)$$

Однако такое определение координат пульсирующих эллипсоидов Пуансо в общем случае может преобразовать их в поверхности более высокого порядка.

В заключение отметим, что решения уравнений Эйлера (11), (12) описывают:

- 1) движение тяжелого твердого тела около неподвижной точки, происходящее под действием периодически изменяющейся общей системы внешних сил;
- 2) движение этого тела при условии, что его центр тяжести движется около неподвижной точки по замкнутой пространственной кривой, лежащей на некоторой алгебраической (механической) поверхности, из чего следует, что кинематические параметры (4) – (5) дают точное аналитическое описание движения корабля на волнении (см. [1]);
- 3) точное аналитическое описание качения тяжелого твердого тела, ограниченного выпуклой алгебраической поверхностью

$$S^N(x, y, z) = 0, \quad (16)$$

по плоскости [10] (обобщение движения Пуансо – см. [9]), при котором нуль-центр инерции вращающихся сил описывает кривую, лежащую на одной из эволютных поверхностей поверхности (16);

- 4) движение вязкой сжимаемой жидкости, обтекающей поверхность (16), в виду того, что угловые скорости  $\omega_i$  входят в выражения составляющих линейных скоростей частиц жидкости, определенных равенствами

$$v_{x_i} = \omega_j x_k - \omega_k x_j, \quad (17)$$

где  $\omega_j$ ,  $\omega_k$  суть решения уравнений (14),  $x_j$ ,  $x_k$  — координаты точки, лежащей на поверхности (16), дифференцированием которых могут быть получены уравнения Эйлера – Стокса, для чего необходимо и достаточно, приняв поверхность (16) за абсолютную поверхность, порождающую соответствующую проективную геометрию, а потому неподвижную (см. [11]), определить движения сплошной среды (пространства), оставляющие эту поверхность на месте, вращениями относительно двух систем осей и построить описывающие эти вращения уравнения Эйлера – Стокса и волновые уравнения посредством вычисления первой и второй субстанциональных производных от составляющих вектора линейной скорости жидкости (17).

### Литература

1. Крылов А.Н. Качка корабля. Собр. трудов, т. XI, М.-Л., ИАН СССР, 1951.
2. Мануйлов К.В. Конические сечения, теорема Абеля и нелинейные задачи математической физики. // Quaest. Phil. Nat. № 2–3. 1998–1999. С. 8–54.
3. Мануйлов К.В., Курбатов А.А. Решение уравнений Эйлера, описывающих движение тяжелого твердого тела около неподвижной точки в общем случае. // Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ). 2003. №.9. С. 131–139.
4. Bobenko A.L., Reyman A.G., Semenov-Tian-Shansky M.A. Kowalewski's Top 99 years later; Lax pair, generalization and explicit solution. Comm. in Math. Phys., 188, 1989, pp. 321-354.
5. Reyman A.G., Semenov-Tian-Shanski M.A. Group theoretical methods in the theory of finite dimensional Integrable systems. Dynamical systems VII. Encyclopedia of Math. Sc., Springer. V. 1994.
6. Euler L. Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum. V.II. Opera Omnia. Ser.Secunda, V.IV. Lipsiae et Berolini, Teubner. 1950. P.104–132.
7. Krause M. Die Transformation der Hyperelliptischen Functionen erster Ordnung. Leipzig, Teubner, 1886.
8. Maschke H. Ueber die quaternäre endliche, lineare Substitutionsgruppe der Borchardt'schen Moduln. Math. Ann., Bd. XXXIII, 1889, s. 317–323. (Русский перевод в Quaest. Phil. Nat. № 4–5. С.185–201. В печати).
9. Poinso L. Théorie nouvelle de la rotation des corps. // Journ. math. pures et appliques, 1851. T. XVI. P. 9–129, 289–336.
10. Мануйлов К.В., Ильина Л.П., Панферов А.А. Качение тяжелого твердого тела, ограниченного известной алгебраической поверхностью по плоскости и обтекание этого тела потоком жидкости. / Материалы международной конференции «Четвертые Окуневских чтения». СПб, 2005. С. 100-105.
11. Клейн Ф. Неевклидова геометрия. М.-Л., ОНТИ, 1936.

# ВРАЩЕНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОЙ ЭЛЛИПСОИДАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ, ЗАПОЛНЕННОЙ СЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТЬЮ, ОКОЛО НЕПОДВИЖНОГО ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ

Л.П. Ильина, А.А. Панферов

Получены уравнения Эйлера, описывающие вращение деформируемой эллипсоидальной оболочки, заполненной вязкой сжимаемой жидкостью, около неподвижного центра тяжести, посредством дифференцирования по времени составляющих вращательного импульса  $S_i = A_i(t)\omega_i(t)$ , где  $A_i$  – моменты инерции,  $\omega_i$  – угловые скорости.

Решение задачи о движении эллипсоидальной оболочки, заполненной вязкой сжимаемой жидкостью, позволяет продвинуть одну из классических задач небесной механики, состоящую в определении формы небесных тел, а также рассмотреть поведение выпуклых – не обязательно эллипсоидальных – оболочек конечной толщины при некоторых достаточно общих внешних воздействиях.

Задача об определении формы небесных тел, впервые сформулированная и решенная при некоторых приближениях И. Ньютоном в III книге «Principia» [1], была впоследствии продвинута целым рядом замечательных геометров, практически полный перечень которых с изложением достигнутых ими результатов содержится в монографиях И. Тодхантера, П. Пицетти, П. Аппеля [2–4], хотя исследования А.М. Ляпунова в последней изложены неполно. Но, как это ни странно, на всем протяжении более чем двухсотлетней истории развития этой области механики в подавляющем большинстве мемуаров, включая и таковые, написанные в XX столетии, ищутся устойчивые поверхности равновесия, ограничивающие несжимаемое жидкое тело, вращающееся около одной оси (см. [5], с. 206, 207), хотя реальные небесные тела вращаются относительно своих центров тяжести и, конечно, обладают сжимаемостью, т.е. в них рассматривается то же самое движение жидкого тела, которое рассматривал И. Ньютон.

Авторам известны лишь три мемуара, в которых изучается движение жидкого тела около неподвижного центра тяжести. Первый из них был написан Г.П. Дирихле незадолго до его кончины [6], второй, представляющий собой прямое развитие первого – Б. Риманом [7], а третий – А. Пуанкаре [8], основные уравнения в котором суть уравнения Римана. Примыкает к ним мемуар Н.Е. Жуковского, посвященный движению твердого тела, имеющего полости, наполненные однородной капельной жидкостью [9]. К той же группе работ относится монография С.Чандрасекхара [10], толчком к написанию которой явилось знакомство автора с мемуаром Римана [7].

Мемуарам Дирихле и Римана посвящена глава в монографии П. Пицетти [3], более доступная для понимания, чем оригинальные тексты и монография С. Чандрасекхара. Однако, несмотря на целый ряд аналитических изысков, содержащихся в [7], основные уравнения движения бессодержательны, ибо описывают несуществующие процессы, так как Б. Риман вслед за Дирихле предполагал жидкость несжимаемой.\*

В работе [11] мы построили аналитическое описание движения жесткой эллипсоидальной оболочки, заполненной реальной жидкостью, около неподвижного центра тяжести. Такая постановка задачи эквивалентна постановке Дирихле, ибо он требует, чтобы во вращающемся около неподвижного центра тяжести жидком эллипсоиде существовало такое движение жидкости, которое компенсировало бы его деформации

---

\* В статье "Движение жёсткой эллипсоидальной оболочки, заполненной реальной жидкостью, около неподвижного центра тяжести" (см. [11]) допущена ошибка: после слова "бессодержательна" следует неверная формулировка "ввиду тавтологичности подстановки". В настоящей публикации в текст внесены исправления.

под действием центробежных сил, т.е. чтобы эллипсоид оставался недеформированным, а также чтобы на его поверхности все время находились одни и те же частицы жидкости [3, 6, 7]. Допущение же сжимаемости жидкости является приближением задачи Дирихле к реальности и приводит к требуемому им движению жидкости внутри оболочки, которая движется вместе с жидкостью как небесное тело, т.е. с угловыми скоростями  $\omega_i$ , удовлетворяющими уравнениям Эйлера

$$D_t \omega_i = \alpha_i \omega_j \omega_k, \quad (1)$$

где  $\alpha_i = \frac{A_j - A_k}{A_i}$ ,  $A_i$  – моменты инерции.

Наибольший интерес представляет – как с точки зрения чистой механики, так и с точки зрения реальных геодинамических процессов – описание движения деформируемой оболочки, заполненной реальной жидкостью.

Напомним основные результаты, полученные в работе [11]. Для построения уравнений Эйлера, описывающих движение такого тела около неподвижного центра тяжести, необходимо найти полные производные по времени не от угловых скоростей  $\omega_i$ , а от составляющих момента  $A_i \omega_i$ , так как центробежные силы периодически изменяют моменты инерции тела ввиду сжимаемости жидкости, и пять произвольных постоянных, определяющих выражения угловых скоростей  $\omega_i$

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= c_1 \operatorname{dn} u & \omega_2 &= c_2 \operatorname{sn} u & \omega_3 &= c_3 \operatorname{cn} u & \text{(I)} \\ \omega_1 &= c_1 \operatorname{cn} u & \omega_2 &= \bar{c}_2 \operatorname{sn} u & \omega_3 &= c_3 \operatorname{dn} u & \text{(II)} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

$$u = \operatorname{am} \lambda(t - t_0)$$

зависят от моментов инерции  $A_i$ , которые в рассматриваемом случае суть периодические функции времени

$$\left. \begin{aligned} c_i &= c_i[A_1(t), A_2(t), A_3(t)] \\ \lambda &= \lambda[A_1(t), A_2(t), A_3(t)] \\ \varepsilon &= \varepsilon[A_1(t), A_2(t), A_3(t)] \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  есть эксцентриситет кинематического эллипса, тригонометрические функции которого входят в выражения угловых скоростей (2), т.е. определить уравнения Эйлера, построив производные от моментов  $A_i \omega_i$  (см. [11]). Эти уравнения Эйлера имеют вид

$$\left. \begin{aligned} A_1 D_t \tilde{\omega}_1 &= -(A_3 - A_2) \omega_2 \omega_3 - f_1(t) \left\{ A_1 \left[ \frac{D_t \varepsilon}{2\varepsilon(1-\varepsilon^2)} + D_t \ln c_1 + (D_t \ln A_1) \right] \omega_1 - \right. \\ &\quad \left. - \frac{A_1 D_t \varepsilon}{2\varepsilon(1-\varepsilon^2)} D_u^2 \omega_1 + A_1 \left[ \left( D_t \ln \lambda - \frac{1}{\varepsilon} \right) u - \left( \frac{\varepsilon^2}{c_1^2} \int_0^u \omega_1^2 du \right) \frac{D_t \varepsilon}{\varepsilon(1-\varepsilon^2)} \right] D_u \omega_1 \right\} \\ A_2 D_t \tilde{\omega}_2 &= -(A_1 - A_3) \omega_1 \omega_3 - f_2(t) \left\{ A_2 \left[ \frac{D_t \varepsilon}{2\varepsilon(1-\varepsilon^2)} + D_t \ln c_2 + (D_t \ln A_2) \right] \omega_2 - \right. \\ &\quad \left. - \frac{A_2 D_t \varepsilon}{2\varepsilon(1-\varepsilon^2)} D_u^2 \omega_2 + A_2 \left[ \left( D_t \ln \lambda - \frac{1}{\varepsilon} \right) u - \left( \varepsilon^2 u - \frac{\varepsilon^2}{c_2^2} \int_0^u \omega_2^2 du \right) \frac{D_t \varepsilon}{\varepsilon(1-\varepsilon^2)} \right] D_u \omega_2 \right\} \\ A_3 D_t \tilde{\omega}_3 &= -(A_2 - A_1) \omega_1 \omega_2 - f_3(t) \left\{ A_3 \left[ \frac{D_t \varepsilon}{2\varepsilon(1-\varepsilon^2)} + D_t \ln c_3 + (D_t \ln A_3) \right] \omega_3 - \right. \\ &\quad \left. - \frac{A_3 D_t \varepsilon}{2\varepsilon(1-\varepsilon^2)} D_u^2 \omega_3 + A_3 \left[ \left( D_t \ln \lambda - \frac{1}{\varepsilon} \right) u + \left( (1-\varepsilon^2)u - \frac{1}{c_3^2} \int_0^u \omega_3^2 du \right) \frac{D_t \varepsilon}{\varepsilon(1-\varepsilon^2)} \right] D_u \omega_3 \right\} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где, соответственно,  $\tilde{\omega}_i$  – угловые скорости, определяющие вращение жидкости внутри

оболочки в неподвижной системе координат относительно движущихся осей,  $\omega_i$  – угловые скорости движения оболочки с реальной жидкостью, рассматриваемой как твердое тело (самой оболочки),  $A_i$  – моменты инерции,  $c_i, \lambda, \varepsilon$  определены выражениями

$$(3), \int_0^u \omega_i^2 du - \text{величины, определяющие сопротивление жидкости, пропорциональные}$$

первым степеням  $\omega_i$  (трение жидкости при обтекании оболочки и внутреннее трение), представляют собой эллиптические интегралы II рода, являющиеся квазипериодическими функциями времени,  $f_i(t)$  есть функции времени, определенные свойствами жидкости.

Так как тело движется с угловыми скоростями  $\omega_i$ , удовлетворяющими уравнениям (1), ибо движение его как целого относительно неподвижного центра тяжести предполагается таким же, как и движение небесного тела, то правые части уравнений (4), за вычетом первых слагаемых, определяют составляющие момента сил, вращающих жидкость внутри эллипсоидальной оболочки относительно тех же движущихся (или неподвижных) осей, но в противоположные стороны, графическое представление которых, с точностью до амплитудных коэффициентов (см. (4)) имеет вид

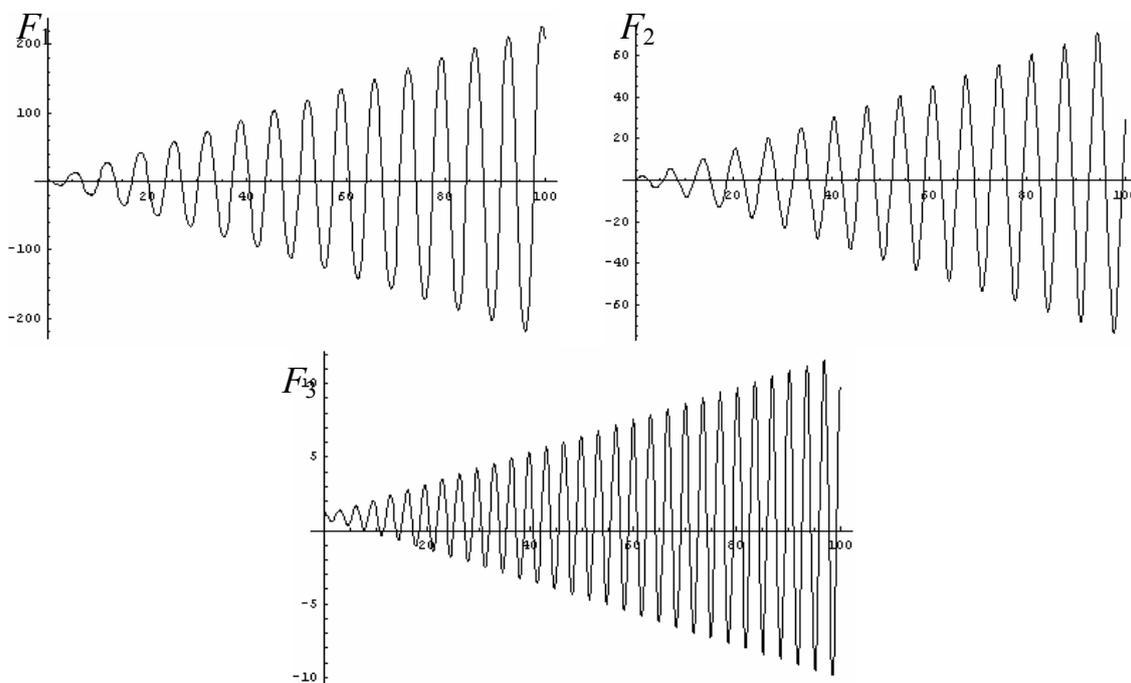


Рис. 1. Общий характер поведения во времени составляющих момента сил, вращающего жидкость внутри оболочки

Третьи слагаемые, содержащие функции II рода  $\int_0^u \omega_i^2 du$ , являющиеся квазипериодическими,

определяют необратимые изменения динамики и кинематики движущейся жидкости.

Поделив уравнения (4) на  $A_i$ , отметим, что их правые части образованы из величин, являющихся интегрируемыми функциями времени, что позволяет, проинтегрировав эти уравнения, найти явные аналитические выражения угловых скоростей вращения жидкости внутри оболочки, определенных относительно движущихся осей  $\omega_i$  :

$$\left. \begin{aligned} \omega_{I_1} &= \lambda_1(t) [\bar{\varphi}_{11} D_u \omega_1 + \bar{\varphi}_{12} (1 - \varepsilon^2) \ln(c_2 \omega_3 - i c_3 \omega_2) + \bar{\varphi}_{13} E(u) \omega_1] + \bar{C}_1 \\ \omega_{I_2} &= \lambda_2(t) [\bar{\varphi}_{21} D_u \omega_2 + \bar{\varphi}_{22} \varepsilon^2 u \omega_2 + \bar{\varphi}_{23} \ln(c_1 \omega_3 + \varepsilon c_3 \omega_1) + \bar{\varphi}_{24} E(u) \omega_2] + \bar{C}_2 \\ \omega_{I_3} &= \lambda_3(t) [\bar{\varphi}_{31} D_u \omega_3 + \bar{\varphi}_{32} (1 - \varepsilon^2) u \omega_3 + \bar{\varphi}_{33} \ln(c_2 \omega_1 - i c_1 \omega_2) + \bar{\varphi}_{34} E(u) \omega_3] + \bar{C}_3 \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где  $\bar{C}_i$  – постоянные интегрирования,  $c_i$  – см. (3),  $\lambda_i(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon_0(1 - \varepsilon_0^2)}$ , Точно так же находят скорости движения точек жидкости относительно осей неподвижных.

Если мы допустим, что тело движется по инерции, то оно через некоторое время остановится, что видно из уравнений

$$\omega_i(\varepsilon) = \omega_i - \omega_{I_i}, \quad (6)$$

где  $\omega_i$  суть решения уравнений (1).

Угловые скорости, полученные в результате интегрирования, удовлетворяют уравнениям, определяющим нормированные линейные скорости точек жидкости внутри эллипсоидальной оболочки, полученным Б.Риманом (см. [7]).

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{x_i}{a_i} \right) = \omega_{I_j} \left( \frac{x_k}{a_k} \right) - \omega_{I_k} \left( \frac{x_j}{a_j} \right). \quad (7)$$

Однако эти скорости являются лишь «затравочными» – порождающими движение жидкости внутри эллипсоидальной оболочки, – ибо частицы жидкости, обтекающие внутреннюю поверхность эллипсоидальной оболочки, вращаются относительно осей, касающихся одной из эволютных поверхностей эллипсоида (см. рис.2, ось А, перпендикулярная плоскости чертежа). Таким образом, каждая частица жидкости, обтекающей внутреннюю поверхность оболочки, движется подобно циклоидальному маятнику в сопротивляющейся среде.

Ввиду сохранения полного момента количества движения эти же самые частицы с необходимостью вращаются и относительно осей им полярных, которые при условии, что первые оси являются гиперболическими – лежат вне эллипсоида и пересекают эллипсоид, если он сплюснутый, в приэкваториальной области. (см. рис. 2, ось А') [12]

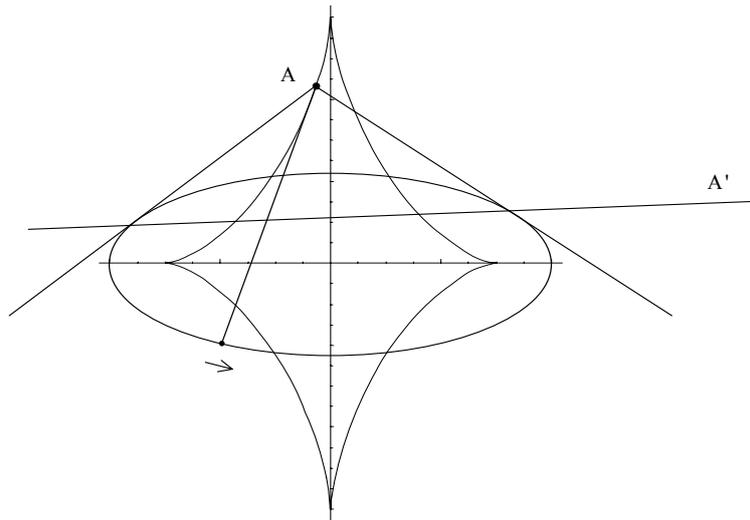


Рис. 2 Оси, относительно которых вращается жидкость

Движение же жидкости относительно сказанных осей определено угловыми скоростями  $\tilde{\omega}_i$ , представляющими собой функции пяти переменных,

$$\tilde{\omega}_i = \frac{\theta_i \theta_i (v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}{\theta \theta (v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}, \quad (8)$$

и являющимися решениями уравнений Эйлера, имеющих вид

$$\begin{aligned} A_i \frac{\partial \tilde{\omega}_i}{\partial t} + A_i \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \tilde{\omega}_i}{\partial \kappa_j} \frac{\partial \kappa_j}{\partial t} = (A_j - A_k) \omega_j \omega_k + \sum_{l=1}^3 \beta_{l23}(u) \alpha_{l2} \alpha_{l3} + A_i \left[ D_i \ln A_i + \frac{1}{c_i} \sum_{j=1}^3 \frac{\partial c_i}{\partial \kappa_j} D_i \kappa_j \right] \omega_i - \\ - A_i \sum_{ijk=1}^3 f_1(\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3) \left\{ \gamma_{11} \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial u_1^2} + 2\gamma_{12} D_{u_1} \ln \theta(v_1, v_2) D_{u_1} \omega_i + \frac{2\gamma_{13}}{|K|} \sum_{l=1}^2 \frac{\partial \omega_i}{\partial u_l} \left[ \sum_{i=1}^3 (u_l \kappa_{li} + \right. \right. \\ \left. \left. + u_2 \kappa_{2li}) \kappa_i \kappa_l^2 \right] \right\} D_i \kappa_j - A_i \sum_{ijk=1}^3 f_2(\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3) \left\{ 2\gamma_{21} \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial u_1 \partial u_2} + 2\gamma_{22} \sum_{i=1}^2 D_{u_i} \ln \theta(v_1, v_2) D_{u_i} \omega_i + \right. \\ \left. + \frac{2\gamma_{23}}{|K|} \sum_{l=1}^2 \frac{\partial \omega_i}{\partial u_l} \left[ \sum_{i=1}^3 (u_l \kappa_{li} + u_2 \kappa_{2li}) \kappa_i \kappa_l^2 (\kappa_j^2 + \kappa_k^2) \right] \right\} D_i \kappa_j - A_i \sum_{ijk=1}^3 f_3(\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3) \left\{ \gamma_{31} \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial u_2^2} + \right. \\ \left. + 2\gamma_{32} D_{u_2} \ln \theta(v_1, v_2) D_{u_2} \omega_i + \frac{2\gamma_{33}}{|K|} \sum_{l=1}^2 \frac{\partial \omega_i}{\partial u_l} \left[ \sum_{i=1}^3 (u_l \kappa_{li} + u_2 \kappa_{2li}) \kappa_i \kappa_l^2 \kappa_j^2 \kappa_k^2 \right] \right\} D_i \kappa_j, \quad (9) \end{aligned}$$

где  $\alpha_{ij} = \frac{\theta_{j(i+3)} \theta_{j(i+3)}(v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}{\theta \theta (v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}$ ,  $i, j = 1, 2, 3$  – направляющие косинусы,  $\kappa_i$ ,

$i = 1, 2, 3$ , суть модули, выражающиеся через начальные значения направляющих косинусов и моменты инерции

$$\left. \begin{aligned} \kappa_{i11} = K_{22} \frac{\partial K_{11}}{\partial \kappa_i} - K_{21} \frac{\partial K_{12}}{\partial \kappa_i} \quad \kappa_{i12} = -K_{12} \frac{\partial K_{11}}{\partial \kappa_i} + K_{11} \frac{\partial K_{12}}{\partial \kappa_i} \\ \kappa_{i21} = K_{22} \frac{\partial K_{21}}{\partial \kappa_i} - K_{21} \frac{\partial K_{22}}{\partial \kappa_i} \quad \kappa_{i22} = -K_{12} \frac{\partial K_{21}}{\partial \kappa_i} + K_{11} \frac{\partial K_{22}}{\partial \kappa_i} \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

$$\kappa_{ij} = \sqrt{\kappa_i^2 - \kappa_j^2}, \quad |K| = K_{11} K_{22} - K_{12} K_{21},$$

где  $K_{ij}$  суть полные абелевы интегралы I рода ранга два (см. [11, 13]), т.е. уравнений, подобных уравнениям Эйлера, описывающим движение вязкой сжимаемой жидкости, вызванное поступательным движением в ней трехосного эллипсоида (см. [13]).

Движения жидкости, аналитическое описание которого мы нашли, а именно, ее вращение относительно двух систем осей, порождает внутри жесткой оболочки колебания, геометрическое представление которых дается системой поверхностей, подобных волновым, аналитические выражения которых суть аналитические выражения коэффициентов уравнения шестой степени, полученного впервые Ковалевской при периодически изменяющихся величин его корней [13]. Это позволяет, сняв требование жесткости, наложенное изначально нами на эллипсоидальную оболочку, поставить задачу о форме устойчивых поверхностей равновесия вращающейся жидкости, или, что то же самое, задачу о форме небесных тел с учетом реальных свойств жидкости. Для ее полного решения необходимо определить движение жидкости внутри оболочки составляющими линейной скорости

$$v_{x_i} = \omega_j x_k - \omega_k x_j, \quad (10)$$

являющимися решениями гидродинамических уравнений Эйлера.

Хотя в рамках настоящей статьи мы не имеем возможности построить полное описание движения жидкости внутри деформируемой эллипсоидальной оболочки, однако полученные нами уравнения дают возможность продемонстрировать степень

сложности сказанного движения, а их решения – построить исчерпывающее его описание. В частности, из полученных нами уравнений движения жидкости и их решений следует, что условие устойчивости поверхностей равновесия в нашем случае отличаются от таковых, полученных в мемуарах [3, 4, 6, 7]. Кроме того, нами получено аналитическое описание составляющих момента сил, вращающих жидкость внутри реальных небесных тел, позволяющее определить один из источников внутренней энергии Земли.

### Литература

1. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Собр. соч. А.Н.Крылова, М-Л.: ИАН СССР, Т.7, 1936. С.531-541, 591-597.
2. Тодхантер И. История математических теорий притяжения и фигуры Земли. М.: УРСС, 2002.
3. Пицетти П. Основы механической теории фигуры планет. М-Л.: ГТТИ, 1933.
4. Аппель П. Фигуры равновесия, вращающейся однородной жидкости. Л-М.: ОНТИ, 1936.
5. Пуанкаре А. Фигуры равновесия жидкой массы. Москва – Ижевск: РХД, 2000.
6. Dirichlet P.G. Untersuchungen über ein Problem der Hydrodynamik. // Journ. für Reine und Angew. Math. 1860. Bd. LVIII. S. 181 – 216.
7. Риман Б. О движении жидкого однородного эллипсоида. Соч. М-Л.: ГИТТЛ, 1948. С. 339 – 366.
8. Poincaré H. Sur la précessions des corps deformable. // Bull. Astron. 1910. 27. P.321–356.
9. Жуковский Н.Е. О движении твердого тела, имеющего полости, наполненные однородной капельной жидкостью. Полное собр. соч. Т.III. М.-Л.: ОНТИ, 1936. С.20 – 181.
10. Чандрасекхар С. Эллипсоидальные фигуры равновесия. М: Мир, 1973.
11. Ильина Л.П., Мануйлов К.В., Панферов А.А. Движение жесткой эллипсоидальной оболочки, заполненной реальной жидкостью, около неподвижного центра тяжести. Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ), вып.9, СПб, 2003. С.121-126.
12. Котельников А.П. Проективная теория векторов. Казань. Типо-Литография Императорского университета, 1899.
13. Мануйлов К.В., Курбатов А.А. Решение уравнений Эйлера, описывающих движение тяжелого твердого тела около неподвижной точки под действием внешних сил в общем случае. // Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ). 2003. №9. С. 131–139.

# АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАЯТНИКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ

К.В. Мануйлов, Д.В. Несмачный

В работе построены уравнения, описывающие движение маятника под действием сопротивления трения, и уравнения, описывающие движение маятника в сплошной среде. Посредством выбора начальных условий получены аналитические выражения движущих сил и сил сопротивления как функций размаха, определенного через синус половинного угла отклонения или, что то же самое, эксцентриситет кинематического эллипса, отображением на который спрямляется движение маятника.

Свободное движение математического (физического) маятника описывается уравнением [1]

$$ml \frac{d^2\varphi}{dt^2} + mg \sin \varphi = 0, \quad (1)$$

решением которого является функция [1]

$$\varphi = 2 \arcsin \{ \varepsilon \operatorname{sn} [u] \}, \quad (2)$$

где  $\operatorname{sn}(u)$  – эллиптическая функция Якоби, а  $\varepsilon$  – эксцентриситет кинематического эллипса, отображением на который движение маятника спрямляется последующим отображением на окружность. Точного же аналитического описания движения маятника, происходящего под действием внешней силы сопротивления, пропорциональной первой степени скорости (силы трения)

$$F \sim \frac{mlk}{T} \frac{d\varphi}{dt} \quad (3)$$

или под действием силы общего вида (в сопротивляющейся среде)

$$F \sim \alpha \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + \beta \left( \frac{d\varphi}{dt} \right) + \gamma, \quad (4)$$

где  $\alpha = \alpha(t)$ ,  $\beta = \beta(t)$ , которое было бы адекватно наблюдаемому движению, по настоящее время не существует. Действительно, различные решения таких задач, помещенные в многочисленных монографиях, опубликованных за последние два столетия, включая и те, которые вошли в различные справочники по механике, являются неудовлетворительными, ибо не описывают наблюдаемого движения [2–5].

В связи с этим мы предприняли детальное исследование задачи, полагая, что для описания движения реального маятника под действием внешней силы сопротивления необходимо иметь два уравнения:

- уравнение движения, определяющее закон изменения  $\varphi(t)$  – угла отклонения маятника,
- уравнение движения, определяющее закон изменения  $L(t)$  – размаха.

При этом функции, описывающие законы изменения угла и размаха, представляют собой те же функции, которые описывают свободные колебания, но зависят от двух переменных – аргумента  $u(t)$  и эксцентриситета  $\varepsilon(t)$ , т.е. имеют вид

$$\varphi = 2 \arcsin \{ \varepsilon(t) \operatorname{sn} [u(t), \varepsilon(t)] \}, \quad (5)$$

$$L = 4l \arcsin \{ \varepsilon(t) \}. \quad (6)$$

Поскольку при свободном движении маятника эксцентриситет  $\varepsilon$  есть величина постоянная, определенная равенством

$$\varepsilon = \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (7)$$

где  $\alpha$  — начальный угол отклонения маятника от положения равновесия, то при наличии сил сопротивления он становится величиной переменной:

$$\varepsilon_u(t) = \sin \frac{\varphi(t)}{2} = \sin \left[ \arcsin(\varepsilon_0 \operatorname{sn} u) \right] = \varepsilon_0 \operatorname{sn} u \quad (8)$$

(см. [6]).

При определении функций угла отклонения и размаха в виде (5) и (6), соответственно, и учитывая равенство (8), мы можем построить их полные вторые производные по времени, имеющие вид

$$\frac{d^2 \bar{\varphi}}{dt^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial u^2} \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial u \partial \varepsilon} \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right) \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right) + \frac{\partial \varphi}{\partial \varepsilon} \left( \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial t^2} \right) \right) + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \varepsilon^2} \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right)^2, \quad (9)$$

где величина  $\varepsilon$  определена равенством (8),

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial \varepsilon} &= -\frac{1}{\varepsilon(1-\varepsilon^2)} [2\varepsilon D_u \operatorname{cn} u + 2\varepsilon \operatorname{cn} u E(\varphi)] & (1) \\ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial u \partial \varepsilon} &= \frac{2}{\varepsilon(1-\varepsilon^2)} [-2\varepsilon D_u^2 \operatorname{cn} u - 2\varepsilon^3 \operatorname{cn}^3 u - 2\varepsilon D_u \operatorname{cn} u E(\varphi)] & (2) \\ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \varepsilon^2} &= \frac{1}{\varepsilon^2(1-\varepsilon^2)} [-(\varepsilon^2 + \varepsilon^2 \operatorname{cn}^2 u) 2\varepsilon D_u \operatorname{cn} u + \varepsilon^2(1-\varepsilon^2) u 2\varepsilon \operatorname{cn} u - \\ &\quad - (4\varepsilon^4 \operatorname{cn} u - 2\varepsilon D_u^2 \operatorname{cn} u) E(\varphi) - 2\varepsilon D_u \operatorname{cn} u E^2(\varphi)] & (3) \\ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial u^2} \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)_{\varepsilon=\operatorname{const}}^2 &= 2\varepsilon D_u \operatorname{cn} u & (4) \end{aligned} \right\} (10)$$

где  $D_u = \frac{\partial}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t}$ ,  $D_u^2 = \frac{\partial^2}{\partial u^2} \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)^2$ ,  $\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{t}$ , а

$$E(\varphi) = \int_0^u \varepsilon^2 \operatorname{cn}^2 u du = \frac{1}{4} \int_0^t \left( \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right)^2 dt \quad (10')$$

– эллиптический интеграл II рода, представляющий собой квазипериодическую функцию, предопределяющую необратимые изменения движения и имеющую размерность  $t^{-1}$ . Аналогично

$$\frac{d^2 \bar{L}}{dt^2} = \frac{\partial^2 L}{\partial u^2} \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial^2 L}{\partial u \partial \varepsilon} \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right) \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right) + \frac{\partial L}{\partial \varepsilon} \left( \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial t^2} \right) \right) + \frac{\partial^2 L}{\partial \varepsilon^2} \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right)^2. \quad (11)$$

В результате подстановки выражений (9) и (11) в уравнение (1) мы получим, полагив, что маятник остановлен внешним воздействием в момент времени, отличный от  $t_0$ , уравнения вида (ввиду пропорциональности угла отклонения и размаха рассмотрим уравнения только для  $\varphi(t)$ )

$$\left. \begin{aligned} ml \frac{d^2 \bar{\varphi}}{dt^2} &= -mg \sin \varphi + F_{mp} + C = 0 \\ ml \frac{d^2 \bar{\varphi}}{dt^2} &= -mg \sin \varphi + F_{comp} + C = 0 \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

где  $F_{mp}$  – сила трения в шарнире,  $F_{comp}$  – общая сила сопротивления среды, в которой происходят колебания маятника. Эти уравнения имеют подобное строение, но только их совместное решение дает полное описание наблюдаемого движения. Оба они описывают баланс сил, однако движущая сила может иметь два различных представления:

- Как алгебраическая сумма движущей силы, порождающей свободные колебания ( $mg \sin \varphi$ ), и силы сопротивления, тогда в предположении, что первая сила не изменяется, разность сил будет равна производной от количества движения, затрачиваемого маятником на преодоление сил сопротивления. В этом случае оба слагаемых должны уменьшаться и обратиться в нуль одновременно с их разностью в момент остановки маятника.
- Как алгебраическая сумма движущей силы, порождающей свободные колебания ( $mg \sin \varphi$ ), и производной от количества движения, затрачиваемого маятником на преодоление сил сопротивления. В этом случае первое слагаемое не будет изменяться, а второе будет возрастать, в следствие чего их разность обратится в нуль в момент остановки маятника.

Из формул (10) следует, что силы сопротивления (производные от количества движения, затрачиваемого маятником на преодоление сил сопротивления) представляются функциями четвертой и шестой степени относительно  $\varepsilon$ .

$$\left. \begin{aligned} F_{mp} &= k f^4 [\varepsilon(t)] \\ F_{comp} &= k f^4 [\varepsilon(t)] + \frac{k_1 f^6 [\varepsilon(t)]}{k_2 f^4 [\varepsilon(t)]} \end{aligned} \right\}, \quad (13)$$

где  $k, k_1, k_2$  – коэффициенты, зависящие от природы трения,

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 F [u(t)]. \quad (14)$$

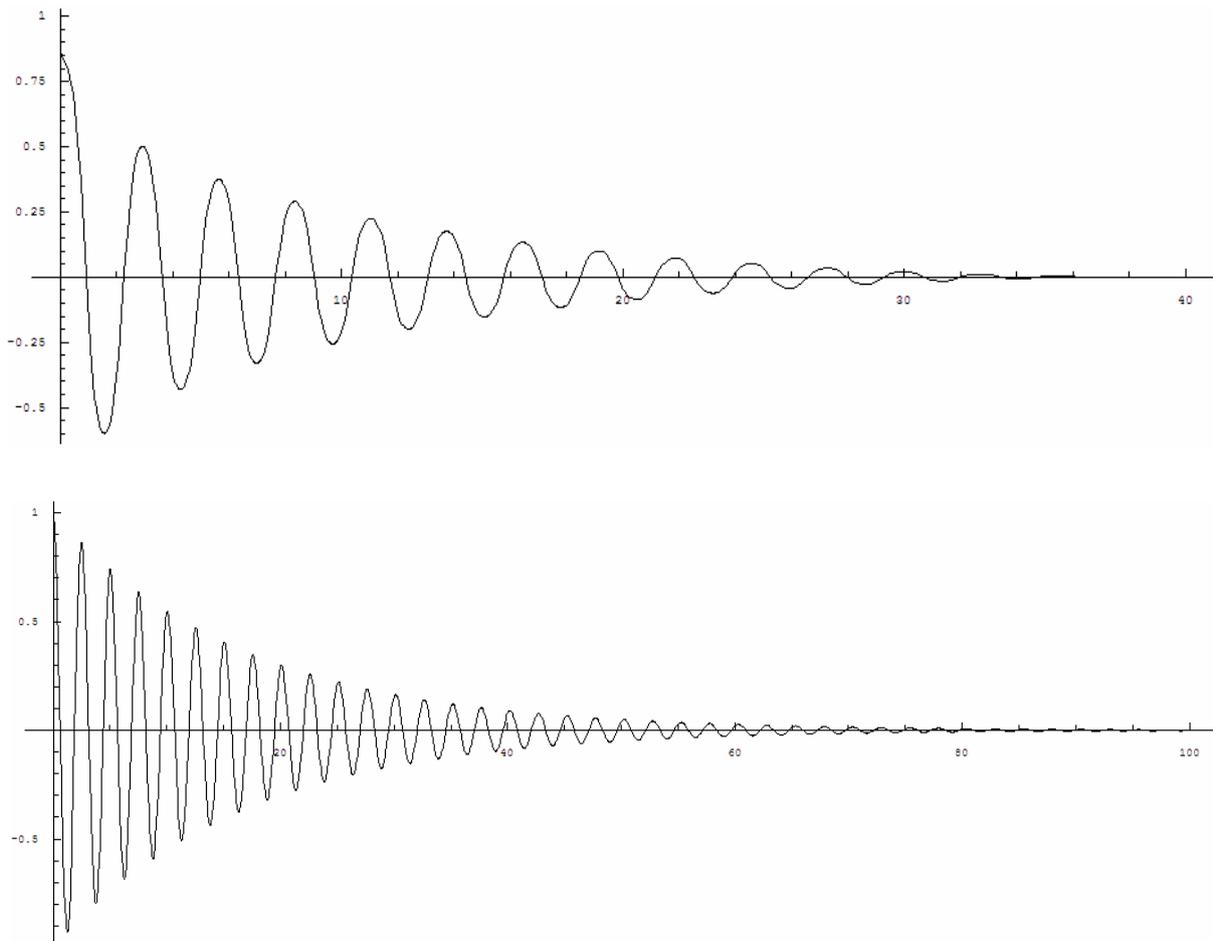


Рис.1. Сопоставление кривых затухания колебаний маятника при различных значениях коэффициентов, характеризующих природу трения

Следовательно, закон погасания колебаний маятника определен в случае сопротивления трения уравнением степени не ниже четыре, а при колебаниях в сплошной среде – уравнением степени не ниже шести. Однако в результате сопоставления кривых, определяющих колебания маятника под действием силы трения в шарнирах, можно видеть, что коэффициенты, входящие в уравнение, описывающее закон погасания колебаний маятника под действием силы трения, равно как и их поведение, зависят от материалов, из которых изготовлены трущиеся поверхности шарниров (металл-металл, металл-пластик и т.д.). Закон погасания также зависит от вида трения (вязкое, сухое) (см. рис.1).

В связи с этим планируется постановка двух серий экспериментов для точной идентификации кривых, полученных в результате измерений и расчетов, а именно, для изучения погасания маятника при сопротивлении трения и для изучения погасания маятника при сопротивлении сплошной среды.

### Литература

1. Уиттекер Е.Т. Аналитическая динамика. М.-Л.: ОНТИ, 1937. С.87–89
2. Вебстер А.Г. Механика материальных точек, твердых, упругих и жидких тел. Л.-М.: ГТТИ, 1933.
3. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М, ГИФМЛ, 1958.
4. Яворсий Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука. Физматлит, 1996. С. 312–316
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. М.: Физматлит, 2004. С. 104–107
6. Несмачный Д.В., Иванов В.А. Построение аналитического описания поведения силы, действующей на маятник, при движении его в среде с сопротивлением, пропорциональным первой степени скорости. / Материалы II межвузовской конференции молодых ученых. СПб: С-ПбГУИТМО, 2005.

# ОБ ОБТЕКАНИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА, ОГРАНИЧЕННОГО ИЗВЕСТНОЙ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ, ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ ИЛИ ГАЗА

К.В. Мануйлов, Л.П. Ильина

Из уравнений Эйлера, описывающих качение тяжелого твердого тела по плоскости, получены уравнения Эйлера, описывающие обтекание тела, ограниченного поверхностью  $S$  реальной (вязкой) сжимаемой жидкостью, посредством построения субстанциональных производных от составляющих линейной скорости жидкости.

Качение по неподвижной плоскости  $P_{\text{fix}}$  тяжелого твердого тела, ограниченного известной алгебраической поверхностью

$$S^N(x,y,z) = 0, \tag{1}$$

в каждый момент времени соприкасающейся с этой плоскостью в точке  $p$ , является зеркально эквивалентным движению по некоторой кривой  $L$ , лежащей на поверхности (1) точки  $p$  соприкосновения плоскости  $P(t)$  с неподвижной поверхностью (1).

Из теории функций комплексной переменной следует, что при качении по плоскости  $P_{\text{fix}}$  поверхности (1) она будет переходить в себя так, как если бы движения принадлежащих ей точек (лежащих на ней точек), равно как и точек трехмерного пространства были бы определены группой дробно-линейных преобразований, действующих на комплексную переменную  $z$ , заданную на плоскости  $\mathbb{C}^1$ , совпадающей с плоскостью  $P_{\text{fix}}$  (см.[1]).

Если мы теперь примем поверхность (1) за абсолютную в некоторой проективной геометрии [2, 3] и потребуем ее неподвижности, то определим этим самым движения точек по ней и движения точек в пространстве, ее объемлющем, как вращения относительно двух систем осей, из коих первые суть оси касательные к эволютным поверхностям поверхности (1), а вторые суть оси, полярные первым относительно этой поверхности (см.[2, 3]). Этим самым движения частиц жидкости по поверхности (1), вызванные движением в последней твердого тела, ограниченного сказанной поверхностью, определены как вращения относительно непрерывного семейства осей, касательных к эволютным поверхностям поверхности (1) (см. рис.1).

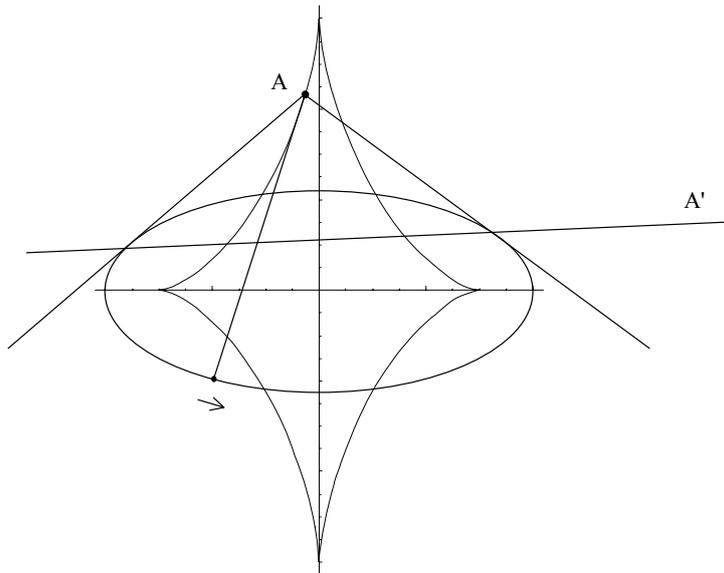


Рис.1 Оси, относительно которых вращается жидкость

В то же самое время качение тяжелого твердого тела, ограниченного известной алгебраической поверхностью (1), по плоскости  $P_{\text{fix}}$  определено решениями дифферен-

циальных уравнений Эйлера, описывающих движение тяжелого твердого тела около неподвижной точки, происходящее под действием системы внешних сил, заставляющих центр тяжести тела и нуль-центр вращающих сил (центр вращения) двигаться по подобным пространственным кривым. Эти уравнения при условии, что угловые скорости  $\tilde{\omega}_i$  определены относительно движущихся осей, имеют вид (см. [4])

$$A_i D_t \tilde{\omega}_i = (A_j - A_k) \tilde{\omega}_j \tilde{\omega}_k + \sum_{ijk=1}^3 F_l (\tilde{x}_{j0} \alpha_{ik} - \tilde{x}_{k0} \alpha_{ij}), \quad (2)$$

где  $A_i$  суть моменты инерции, являющиеся периодическими функциями времени;  $F_l$  – периодически изменяющиеся во времени составляющие момента внешних сил, заставляющие твердое тело катиться по плоскости;  $\tilde{x}_{i0} = x_{i0}(t)$  – периодически изменяющиеся во времени расстояния центра тяжести тела от центра вращения; угловые скорости  $\tilde{\omega}_i$  и направляющие косинусы  $\alpha_{ij}$  определены тригонометрическими функциями алгебраической кривой рода 2, имеющими вид

$$\tilde{\omega}_i = \frac{\theta'_i \theta_i(v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}{\theta \theta(v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)} = c_i \frac{\theta_i(v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}{\theta(v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}, \quad (3)$$

где  $i = 1, 2, 3$ ,

$$\alpha_{ij} = \frac{\theta_{km} \theta_{km}(v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}{\theta \theta(v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)} = a_{ij} \frac{\theta_{km}(v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}{\theta(v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}, \quad (4)$$

где  $j = k = 1, 2, 3$ ;  $m = 4, 5, 6$  (см. [4, 5]).

Из переменных, входящих в эти функции,  $v_i$  суть линейные функции времени, а  $\kappa_i$  – квадратичные, определенные начальными условиями задачи Коши для уравнений (2).

Исходя из общей теории движения твердого тела относительно неподвижной точки, составляющие линейной скорости точек поверхности тела имеют вид

$$v_{y_i} = x_j(t) \omega_k - x_k(t) \omega_j, \quad (5)$$

где  $x_i$  суть координаты точки на поверхности (1). Составляющие же линейной скорости движения точки  $p$  по неподвижной поверхности (1) тела выражаются через главные радиусы кривизны поверхности и угловые скорости, с которыми тело вращается относительно системы трех взаимно перпендикулярных осей  $y_i$ , пересекающихся в точке  $c_1$ , лежащей на одной из эволютных поверхностей тела, в виде (см. [6], ср. [7])

$$\left. \begin{aligned} v_{y_1} &= R_1 \left( \frac{R_2}{R_1} \tilde{\omega}_2 \right) = R_1 \tilde{\omega}'_2 \\ v_{y_2} &= R_1 \tilde{\omega}_1 \\ v_{y_3} &= - \int (R_1 \tilde{\omega}_1^2 + R_1 \tilde{\omega}_2'^2) dt \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  суть радиусы кривизны поверхности (1) в точке  $p$  (см. рис. 2), а  $\tilde{\omega}_i$  суть решения уравнений Эйлера, которые описывают качение тяжелого твердого тела по плоскости, вращающегося около нуль-центра инерции вращающих сил, движущегося по одной из эволютных поверхностей поверхности (1) (см. [6]).

Составляющие линейной скорости (6) являются сложными функциями времени и координат точки  $p$  на поверхности (1), поведение которых определено законами изменения радиусов кривизны  $R_1$ ,  $R_2$  и угловых скоростей  $\tilde{\omega}_i$ , представляющих собой нечетные тригонометрические функции алгебраической кривой рода 2, определенные равенством (3).

Для построения уравнений Эйлера, описывающих движение реальной жидкости (вообще некоторой сплошной среды), обтекающей твердое тело, ограниченное поверхностью (1), правые части которых определяют силы сопротивления жидкости (сплошной среды) в явном виде, нам необходимо и достаточно построить субстанциональные производные от составляющих линейной скорости движения этих частиц  $v_{y_i}$  по сказанной поверхности. Эти уравнения имеют следующий вид (ср. [4]):

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_{y_1}}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial v_{y_1}}{\partial x_j} \frac{\partial x_j}{\partial t} = \frac{\partial R_1}{\partial t} \tilde{\omega}'_2 + R_1 \left( \frac{R_1 \frac{\partial R_2}{\partial t} - R_2 \frac{\partial R_1}{\partial t}}{R_1} \right) \tilde{\omega}'_2 + R_1 \frac{R_2}{R_1} \alpha_2 \tilde{\omega}_1 \tilde{\omega}_3 - \\ - \sum_{l=1}^3 F_l (\tilde{x}_{k0} \alpha_{lj} - \tilde{x}_{k0} \alpha_{lk}) - \frac{1}{c_2} \left( \sum_{i=1}^3 \frac{\partial c_2}{\partial k_i} D_i k_i \right) \tilde{\omega}'_2 + \sum_{ijk=1}^3 \left[ \sum_{mn=1}^2 a_{mn(ijk)} \frac{\partial^2 v_{y_1}}{\partial u_m \partial u_n} \right] - \end{aligned} \quad (7)(1)$$

$$\begin{aligned} - 2 \sum_{ijk=1}^3 \bar{a}_{mn(ijk)} \left( \frac{\partial v_{y_1}}{\partial u_1} + \frac{\partial v_{y_1}}{\partial u_2} \right) E(v_1, v_2) - \sum_{i=1}^3 F_i \left( \frac{\partial v_{y_1}}{\partial u_1}, \frac{\partial v_{y_1}}{\partial u_2}, \frac{\partial K_{1j}}{\partial k_i}, \frac{\partial K_{2j}}{\partial k_i} \right) \\ \frac{\partial v_{y_2}}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial v_{y_2}}{\partial x_j} \frac{\partial x_j}{\partial t} = \frac{\partial R_1}{\partial t} \tilde{\omega}_1 + R_1 \alpha_1 \tilde{\omega}'_2 \tilde{\omega}_3 - \sum_{l=1}^3 F_l (\tilde{x}_{k0} \alpha_{lj} - \tilde{x}_{k0} \alpha_{lk}) - \\ - \frac{1}{c_1} \left( \sum_{i=1}^3 \frac{\partial c_1}{\partial k_i} D_i k_i \right) \tilde{\omega}_1 + \sum_{ijk=1}^3 \left[ \sum_{mn=1}^2 a_{mn(ijk)} \frac{\partial^2 v_{y_2}}{\partial u_m \partial u_n} \right] - \end{aligned} \quad (7)(2)$$

$$\begin{aligned} - 2 \sum_{ijk=1}^3 \bar{a}_{mn(ijk)} \left( \frac{\partial v_{y_2}}{\partial u_1} + \frac{\partial v_{y_2}}{\partial u_2} \right) E(v_1, v_2) - \sum_{i=1}^3 F_i \left( \frac{\partial v_{y_2}}{\partial u_1}, \frac{\partial v_{y_2}}{\partial u_2}, \frac{\partial K_{1j}}{\partial k_i}, \frac{\partial K_{2j}}{\partial k_i} \right) \\ \frac{\partial v_{y_3}}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial v_{y_3}}{\partial x_j} \frac{\partial x_j}{\partial t} = \frac{\partial R(x_1, x_2, x_3)}{\partial t} \tilde{\omega}_3 + R(x_1, x_2, x_3) \alpha_3 \tilde{\omega}_1 \tilde{\omega}_2 - \\ - \sum_{l=1}^3 F_l (\tilde{x}_{k0} \alpha_{lj} - \tilde{x}_{k0} \alpha_{lk}) - \frac{1}{c_3} \left( \sum_{i=1}^3 \frac{\partial c_3}{\partial k_i} D_i k_i \right) \tilde{\omega}_3 + \sum_{ijk=1}^3 \left[ \sum_{mn=1}^2 a_{mn(ijk)} \frac{\partial^2 v_{y_3}}{\partial u_m \partial u_n} \right] - \\ - 2 \sum_{ijk=1}^3 \bar{a}_{mn(ijk)} \left( \frac{\partial v_{y_3}}{\partial u_1} + \frac{\partial v_{y_3}}{\partial u_2} \right) E(v_1, v_2) - \sum_{i=1}^3 F_i \left( \frac{\partial v_{y_3}}{\partial u_1}, \frac{\partial v_{y_3}}{\partial u_2}, \frac{\partial K_{1j}}{\partial k_i}, \frac{\partial K_{2j}}{\partial k_i} \right) = R_1 \tilde{\omega}_1'^2 + R_2 \tilde{\omega}_2'^2 + \end{aligned} \quad (7)(3)$$

$$+ \sum_{j=1}^3 \left[ \frac{\int_0^t (R_1 \tilde{\omega}_1'^2 + R_2 \tilde{\omega}_2'^2) dt}{\partial x_j} \right] \frac{\partial x_j}{\partial t}$$

где  $\alpha_i = \frac{A_j - A_k}{A_i}$ ,  $a_{mn(ijk)}$  суть функции времени, определенные свойствами сплошной среды,  $\kappa_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ , суть модули, выражающиеся через начальные условия для уравнений Эйлера (2) (см. [4]),  $K_{ij}$  суть полные абелевы интегралы I рода ранга два (см. [4]).

Правые части уравнений (7)(1), (7)(2), (7)(3) определяют силы сопротивления реальной (вязкой, сжимаемой) сплошной среды движущемуся в ней твердому телу. Их выражения содержат, кроме слагаемых, входящих в правые части уравнений Эйлера-Стокса, описывающих движение несжимаемой жидкости (см. [8]), аperiodические функции, определяющие необратимые изменения движения жидкости, вызванной ее

сжимаемостью и вязкостью. Все величины, входящие в правые части уравнений (7)(1), (7)(2), (7)(3), являются известными функциями времени.

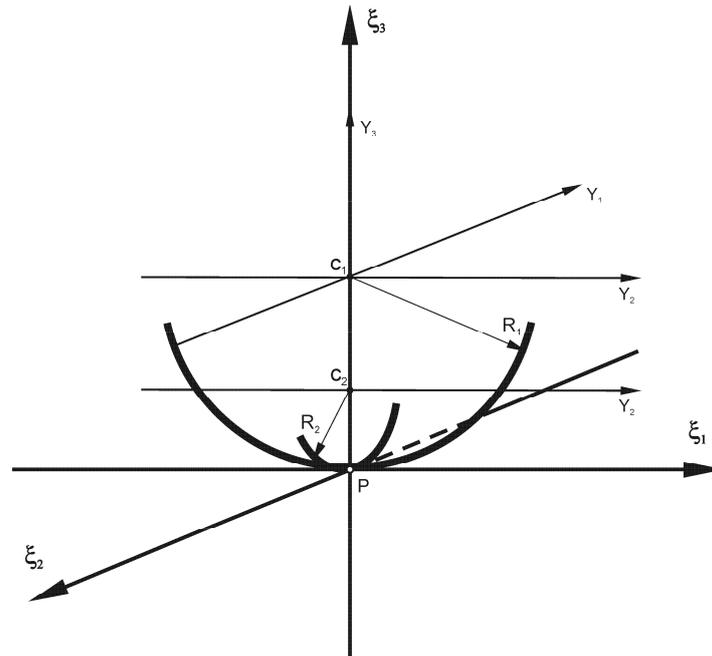


Рис. 2. Главные радиусы кривизны поверхности, ограничивающей тело, катящееся по плоскости

Чтобы уравнения Эйлера, описывающие движение жидкости, вызванное в ней движением твердого тела, ограниченного поверхностью (1), и представляющее собой вращение жидкости относительно осей, касающихся эволютных поверхностей поверхности (1), давали бы точное и наглядное представление о движении частиц жидкости, а именно были бы определены как их вращения относительно двух систем движущихся осей, необходимо и достаточно построить полные субстанциональные производные от составляющих линейной скорости точки  $p$  (6), выразив предварительно входящие в них угловые скорости через углы Эйлера  $\psi, \theta, \varphi$

$$\left. \begin{aligned} \tilde{\omega}_1 &= \frac{d\psi}{dt} \sin \theta \sin \varphi + \frac{d\theta}{dt} \cos \varphi \\ \tilde{\omega}_2 &= \frac{d\psi}{dt} \sin \theta \cos \varphi - \frac{d\theta}{dt} \sin \varphi \\ \tilde{\omega}_3 &= \frac{d\psi}{dt} \cos \theta + \frac{d\varphi}{dt} \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

определенные формулами

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left( \frac{\alpha_{13}}{\alpha_{23}} \right), \quad \psi = \operatorname{arctg} \left( -\frac{\alpha_{31}}{\alpha_{32}} \right), \quad \theta = \arccos(\alpha_{33}), \quad (9)$$

где  $\alpha_{ij} = \frac{\theta_{j(i+3)} \theta_{j(i+3)}(v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}{\theta \theta(v_1, v_2, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)}$ ,  $i, j = 1, 2, 3$ , – направляющие косинусы (см. (4)).

Аналогичным образом необходимо выразить через углы Эйлера (9) угловые скорости, входящие в выражения составляющих линейных скоростей движения жидкости, вызванного в ней движением твердого тела, ограниченного поверхностью (1), и определяющие вращение жидкости относительно осей, полярных осей, касающихся эволютных поверхностей поверхности (1) [1, 2].

Отметим, что при построении гидродинамических уравнений Эйлера в результате дифференцирования угловых скоростей, выраженных через углы Эйлера (8), мы получим аналитическое описание движения жидкости, представленное вращениями относительно систем движущихся осей, причем, вращения относительно этих осей будут описываться выражениями, подобными правой части уравнения движения маятника в сопротивляющейся среде [9]. Именно такими вращениями жидкости, происходящими относительно упомянутых двух систем осей, определено строение трехмерного пограничного слоя, наблюдавшееся авторами работы [10].

### Литература

1. Курант Р. Геометрическая теория функций комплексного переменного. Л.-М.: ГТТИ. 1934. С. 128–155.
2. Котельников А.П. Проективная геометрия векторов. Казань, Типо-Литография Императорского университета. 1899.
3. Клейн Ф. Неевклидова геометрия. М.-Л., ОНТИ, 1936. С.128–142.
4. Мануйлов К.В., Курбатов А.А. Решение уравнений Эйлера, описывающих движение тяжелого твердого тела около неподвижной точки в общем случае. // Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ). 2003. № 9. С. 131–139.
5. Krause M. Die Transformation der Hyperelliptischen Functionen erster Ordnung. Leipzig, Teubner, 1886.
6. Мануйлов К.В., Ильина Л.П., Панферов А.А. Качение тяжелого твердого тела, ограниченного известной алгебраической поверхностью, по плоскости и обтекание этого тела потоком жидкости. / Материалы IV Окуневских чтений. СПб, СПб БГТУ (в печ.)
7. Уиттекер Е.Т. Аналитическая динамика. М.-Л.: ОНТИ. 1937. С.19.
8. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука. 1970. С.452.
9. Мануйлов К.В. Точное аналитическое описание колебаний маятника в сопротивляющейся среде (настоящий сборник).
10. Christopher J. Chesnakas, Roger L. Simpson. Detailed Investigation of the Three-Dimensional Separation About a 6:1 Prolate Spheroid. // AIAA Journal. June 1997. V.35. № 6. P. 990–999.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИСТЕРЕЗИСА ВОЛЬТ-ЕМКОСТНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК СТРУКТУР КРЕМНИЙ-ОКИСЕЛ  
С ПОЛИКРЕМНИЕВЫМ ЗАТВОРОМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ  
ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ****А.М. Скворцов, В.И. Соколов, Р.А. Халецкий**

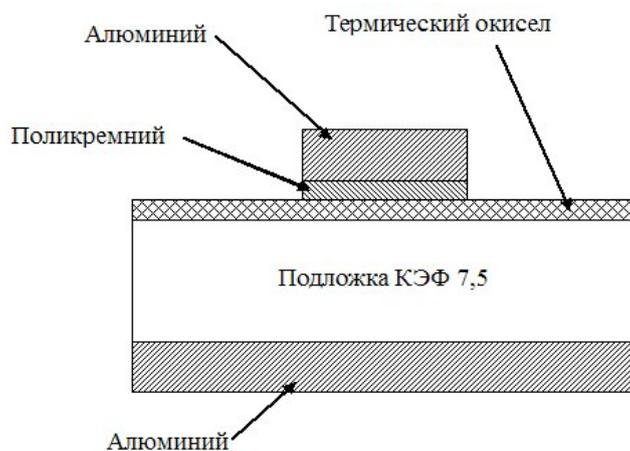
В работе приводятся результаты исследования характера изменения гистерезиса вольт-фарадных характеристик (ВФХ) структур Si-SiO<sub>2</sub> с поликремниевым затвором при воздействии гамма-излучения. Показывается, что гистерезис ВФХ, вызванный облучением, связан с процессами обмена неосновными носителями заряда между ловушечными центрами в окисле и кремниевой подложки.

**Введение**

При эксплуатации интегральных схем (ИС) типа металл-окисел-полупроводник (МОП) в условиях воздействия ионизирующего излучения в окисле протекают деградиационные явления, которые заключаются в увеличении плотности встроенного положительного заряда, генерации поверхностных состояний на границе раздела кремний-окисел [1, 2], а также появлении гистерезиса вольт-фарадных характеристик (ВФХ) системы затвор-окисел-подложка [3, 4], который может привести к дрейфу динамических характеристик МОП-транзистора. Исследованию явления гистерезиса ВФХ почти не уделяется внимания, и поэтому его природа остается плохо изученной. Целью настоящей работы явилось исследование гистерезиса ВФХ структуры типа затвор-окисел-подложка, возникающего при воздействии ионизирующего излучения и выявления причины его возникновения.

**Сущность эксперимента**

Экспериментальные образцы представляли структуры Si-SiO<sub>2</sub>-Si\*-Al (рис. 1). Окисел образцов формировался термическим окислением кремниевой подложки марки КЭФ 7,5 (100) в режимах, представленных в таблице. Окисление производилось в хлорсодержащей среде. Варьирование режимов окисления производилось с целью модификации структурных свойств диоксида кремния, которые могут повлиять на характер гистерезиса ВФХ.

**Рис. 1. Структура экспериментальных образцов**

Осажденный при 640°C из SiH<sub>4</sub> слой Si\* (0,6 мкм), легировался фосфором методом термической диффузии в течение 1 ч при температуре 860°C. После фотогравировки в слое Si\* производился окончательный отжиг поликремния при 860°C в течение 30 мин. Затем термовакuumным напылением на обе стороны пластины для получения омического контакта наносился слой Al с последующей фотогравировкой в верхнем слое Al и отжигом при температуре 450°C в течение 15 мин во влажном азоте. Используемая конструкция экспериментальных МОП-структур и технология их получения являются базовыми при производстве КМОП ИС на одном из предприятий.

№ образца	Толщина окисла, нм	Продолжительность термического окисления, мин				Температура окисления, °C
		В сухом O <sub>2</sub>	Во влажном O <sub>2</sub>	В сухом O <sub>2</sub>	Суммарное время	
1	80	10	100	10	120	850
2	120	10	18	10	38	1000
3	120	90	-	-	90	1050
4	150	120	-	-	120	1050

Таблица. Режимы термического окисления при получении окислов образцов

Экспериментальные структуры подвергались воздействию гамма-излучения, источником которого являлся Co<sup>60</sup> с энергией гамма-квантов 1,3 МэВ и интенсивностью излучения 0,24 Мрад/час. До и после облучения измерялись высокочастотные ВФХ экспериментальных образцов из режима аккумуляции в режим инверсии (прямая ветвь) и обратно (обратная ветвь). По сдвигу прямой ветви относительно обратной определялся заряд  $Q_H$ , обуславливающий этот сдвиг или гистерезис, с использованием следующего выражения:

$$Q_H = C_0 \Delta U_H,$$

где  $C_0$  – удельная емкость окисла;  $\Delta U_H = U_{\text{прям}} - U_{\text{обр}}$ , где  $U_{\text{прям}}$ ,  $U_{\text{обр}}$  – напряжения смещения прямой и обратной ветвей, соответственно, определяемые на одинаковом уровне емкости из экспериментальных ВФХ. Так как каждому значению высокочастотной емкости МОП-структуры соответствует конкретное значение поверхностного потенциала, то из полученных ВФХ можно получить распределение заряда  $Q_H$  в запрещенной зоне кремния.

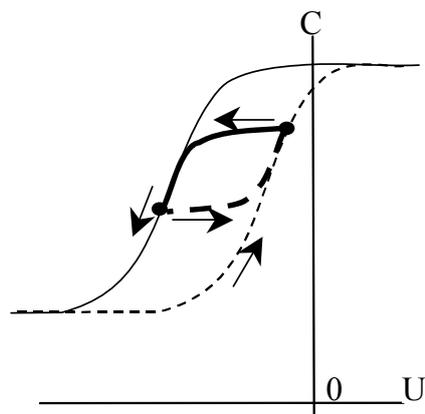


Рис. 2. Схематичное представление перехода между ветвями ВФХ при изменении направления развертки напряжения смещения

Следует отметить особенность в характере появления гистерезиса, наблюдаемого на ВФХ экспериментальных структур до облучения. Эта особенность заключается в

том, что прямая и обратная ветви ВФХ появляются при изменении направления развертки напряжения смещения в любой момент измерения ВФХ, что схематично проиллюстрировано на рис. 2.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

На рис. 3 приведено энергетическое распределение заряда  $Q_H$ , обуславливающего появление гистерезиса ВФХ, до и после воздействия гамма-излучения. Следует отметить, что представленное на рис. 3 распределение заряда  $Q_H$  является типичным для всех экспериментальных структур.

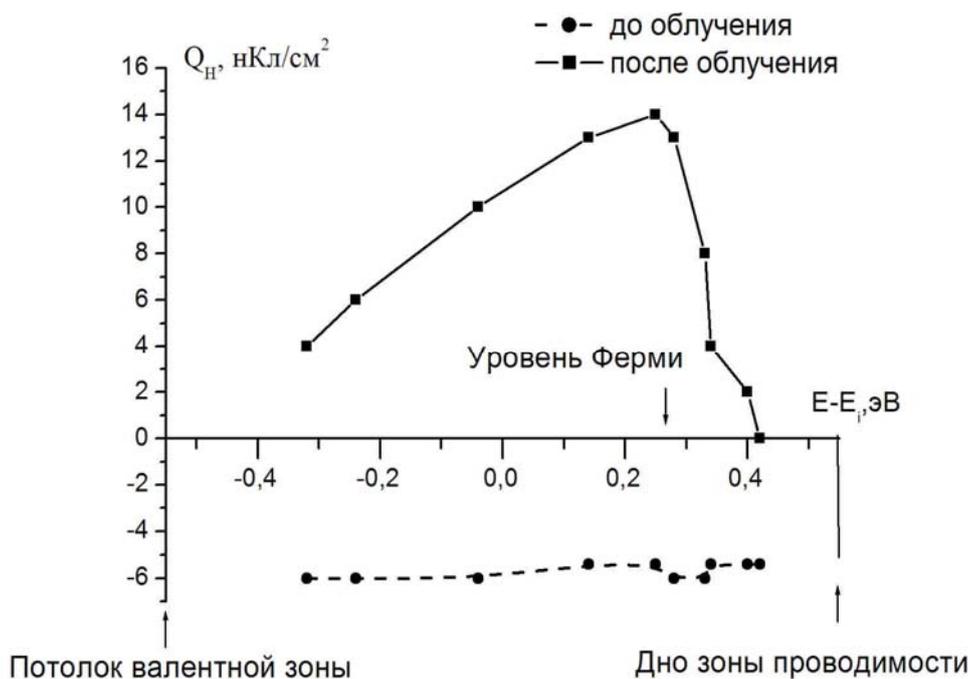


Рис. 3. Типичное энергетическое распределение заряда  $Q_H$ , обуславливающего появление гистерезиса ВФХ, для экспериментальных структур до и после облучения

До облучения амплитуда и отрицательная полярность заряда  $Q_H$  не изменяются по всей ширине запрещенной зоны. В результате облучения происходят существенные изменения характера распределения заряда  $Q_H$ , обуславливающего гистерезис: 1) график зависимости распределения  $Q_H(E)$  становится немонотонным с максимумом вблизи уровня Ферми легированного кремния; 2) заряд  $Q_H$  изменяет полярность на положительную, что соответствует сдвигу обратной ветви ВФХ влево относительно прямой ветви. Необходимо отметить, что при облучении также изменился характер появления гистерезиса, который заключается в том, что обратная ветвь, при изменении направления развертки напряжения смещения, появляется при условии достижения прямой ветви нижнего плато, что соответствует режиму инверсии. Прямая же ветвь ВФХ появляется при условии достижения обратной ветви верхнего плато, соответствующего режиму аккумуляции.

Положительная полярность заряда  $Q_H$ , вызванного гамма-излучением, соответствует полярности неосновных носителей заряда подложки – дырок. Для подтверждения того, что полярность заряда  $Q_H$  определяется полярностью неосновных носителей заряда, был поставлен дополнительный эксперимент. Сущность эксперимента заключается в термическом выращивании окисла на кремнии дырочной проводимости марки КДБ

1 (100) и облучении полученной структуры. На рис. 4 схематично показано, как при облучении изменяется гистерезис ВФХ для экспериментальных структур с различным типом проводимости подложки.

Из рис. 4 видно, что в процессе облучения происходит сдвиг обратной ветви ВФХ относительно прямой. При этом направление сдвига, эквивалентно появлению дополнительного заряда, полярность которого соответствует знаку неосновных носителей заряда: дырок для кремния электронного типа проводимости и электронов для дырочного кремния. Таким образом, с учетом описанного выше обстоятельства, а также того факта, что гистерезис проявляется при достижении определенных режимов изгиба энергетических зон кремния, можно привести схему появления гистерезиса с использованием зонной диаграммы МОП-структур.

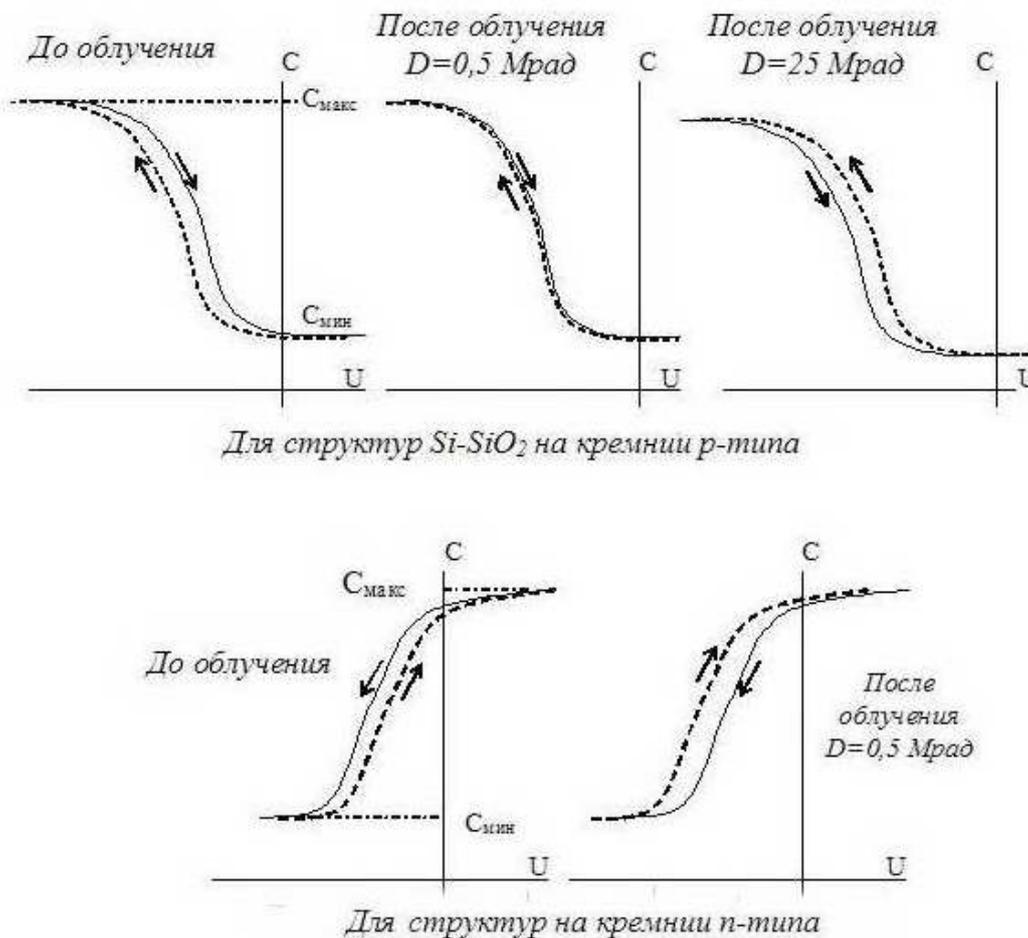


Рис. 4. Изменение гистерезиса ВФХ для МОП-структур с различным типом проводимости кремниевой подложки при воздействии гамма-излучения

Исходное энергетическое состояние представлено на рис. 5 а. При подаче напряжения, соответствующего режиму аккумуляции на поверхности кремния, зоны изогнуты таким образом, что электроны из зоны проводимости под действием поля туннелируют в окисел, где захватываются ловушечными центрами.

При изменении напряжения в сторону инверсии поверхности кремниевой подложки, происходит постепенное изменение изгиба зон, которое не влияет на зарядовое состояние ловушек (рис. 5 б). При достижении глубокой инверсии, зоны изгибаются так сильно, что обеспечивается туннельный обмен носителями зарядов между кремнием и ловушками в окисле (рис. 5 в). При этом может происходить захват дырок на ловушки и выброс электронов в валентную зону полупроводника. Эти явления обмена

зарядами в любом случае можно охарактеризовать как уменьшение отрицательного заряда на ловушках или увеличение положительного заряда.

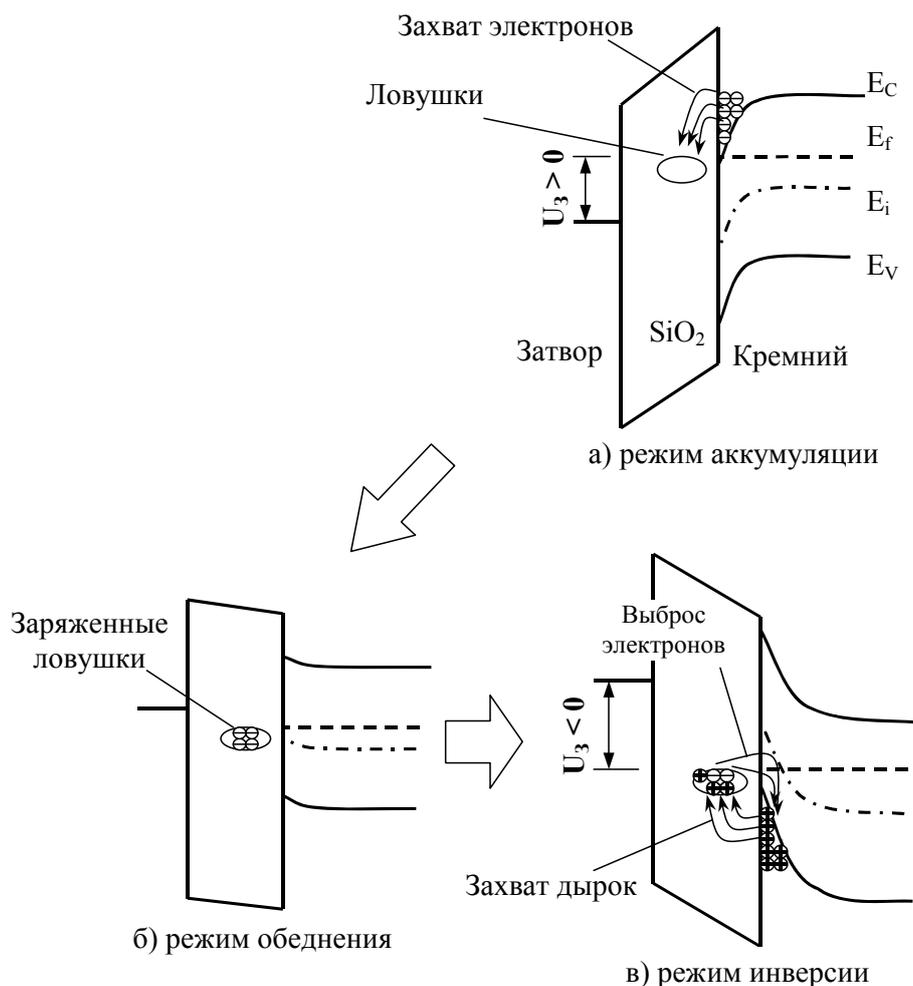


Рис. 5. Схема образования гистерезиса ВФХ для МОП-структур с различным типом проводимости кремниевой подложки при воздействии гамма-излучения

В итоге подобное изменение заряда на ловушках эквивалентно сдвигу ВФХ в сторону отрицательных напряжений, что и наблюдается при снятии обратной ветви ВФХ. При достижении напряжения смещения, соответствующего режиму аккумуляции на поверхности кремния, вновь происходит захват электронов из зоны проводимости и выброс дырок с уровней ловушек.

Представленная схема образования гистерезиса ВФХ для экспериментальных структур на кремнии n-типа действует и для структур на основе дырочного кремния, с тем отличием, что гистерезис ВФХ является отрицательным и обусловлен захватом электронов в режиме инверсии.

### Заключение

Ионизирующее излучение стимулирует появление в окисле ловушечных центров, которые обладают способностью обмениваться с подложкой носителями заряда при определенном условии изгиба энергетических зон кремния. При этом полярность заряда, обуславливающего сдвиг обратной ветви ВФХ относительно прямой, определяется полярностью неосновных носителей заряда. Таким образом, различный характер проявления гистерезиса для n- и p-канальных МОП-транзисторов, возникающего при воз-

действии ионизирующего излучения, необходимо учитывать в технологии и при конструировании МОП и КМОП ИС, работающих в полях радиационного воздействия.

### Литература

1. Гуртов В.А. Влияние ионизирующего излучения на свойства МДП-приборов. Обзоры по электронной технике. 1978. Серия 2. Выпуск 14. 34 с.
2. Ringel H., Knoll M., Braunig D., Fahrner W.R. Charges in metal-oxide-semiconductor samples of various technologies induced by  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  and x-ray quanta. // J. Appl. Phys. 1985. V. 57. № 2. P. 393–399.
3. Урицкий В.Я. Формирование и электрофизические характеристики многослойных структур на основе системы кремний–диоксид кремния: Диссертация на соискание ученой степени д-ра физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 1995. 341 с.
4. D. M. Fleetwood, R. A. Reber Jr., L. C. Riewe, P. S. Winokur. Thermally stimulated current in  $\text{SiO}_2$  // Microelectronics Reliability. 1999. Vol. 39. P. 1323–1336.

# ДЕГРАДАЦИЯ СТРУКТУР Si-SiO<sub>2</sub> С ПОЛИКРЕМНИЕВЫМ ЗАТВОРОМ ПРИ ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ

А.М. Скворцов, В.И. Соколов, Р.А. Халецкий, Ю.В. Смирнов

В работе приводятся результаты исследования влияния гамма-излучения на зарядовые характеристики структур Si-SiO<sub>2</sub> с поликремниевым полевым электродом при облучении под напряжением смещения. Показано, что характер радиационной деградации образцов является различным для отрицательной и положительной полярностей смещения. Обсуждаются механизмы, обуславливающие изменение зарядовых свойств экспериментальных структур, при облучении под напряжением.

## Введение

Полупроводниковые МОП интегральные схемы (ИС) широко используются в качестве элементной базы современной вычислительной техники. При эксплуатации МОП ИС в условиях воздействия ионизирующего излучения в подзатворном диоксиде кремния протекают процессы зарядовой деградации, что приводит к сбоям в работе ИС. Поэтому радиационная стабильность системы подложка–диэлектрик–затвор является одним из основных требований, предъявляемых к МОП ИС.

В настоящее время основным материалом затвора МОП-транзистора является поликристаллический кремний, использование которого обеспечивает значительные преимущества МОП ИС по сравнению со схемами с алюминиевыми полевыми электродами [1, 2].

Однако использование в МОП ИС в качестве затвора МОП-транзисторов поликристаллических пленок приводит к появлению зарядовой нестабильности подзатворного окисла. Механизм зарядовой нестабильности связывается с различного рода факторами, такими как: влияние водорода, которым пересыщена пленка поликремния, на внутреннюю границу раздела кремний–окисел [3]; генерация на внешней границе раздела окисел–поликремниевый затвор особых электрически активных центров [4]; влияние механических напряжений, генерируемых поликремниевой пленкой [5, 6]. Однако полного физико-химического понимания этих явлений пока не существует, тем более недостаточно изучены процессы радиационной деградации структур кремний–окисел–поликремний. В работе [3] отмечается, что КМОП ИС с поликремниевыми затворами отличаются невысокой устойчивостью к облучению. Согласно автору [4], процессы зарядовой деградации на внешней границе раздела окисел–поликремний при облучении протекают наиболее интенсивнее по сравнению с подобными процессами вблизи внутренней границы раздела окисел–подложка, которые исследованы, например в [7–10].

Поэтому уточнение и расширение понимания процессов, происходящих в структуре кремний–диоксид кремния с поликристаллическим полевым электродом при воздействии ионизирующего излучения, и явилось целью настоящей работы.

## Сущность эксперимента

Экспериментальные образцы представляли собой структуры Si-SiO<sub>2</sub>-Si<sup>\*</sup>-Al, которые получались следующим образом. Подложкой образцов служил кремний электронного типа проводимости марки КЭФ 7,5 (100). После предварительной химической очистки пластин в смеси Каро и перекисно-аммиачном растворе производилось термическое окисление в различных режимах, представленных в таблице.

После окисления образцы проходили этап формирования затвора из поликристаллического кремния. Осажденный при 640°C из SiH<sub>4</sub> слой Si<sup>\*</sup> (0,6 мкм), легировался фосфором методом термической диффузии в течение 1 ч при температуре 860°C. После фотогравировки в слое Si<sup>\*</sup> производился окончательный отжиг поликремния при 860°C

в течение 30 мин в среде азота. Затем термовакуумным напылением на обе стороны пластины для получения омического контакта наносился слой Al с последующими фотогравировкой в верхнем слое Al и отжигом при температуре 450°C в течение 15 мин в среде влажного азота. Следует отметить, что условия и режимы, используемые при получении образцов, являются базовыми при производстве КМОП ИС на одном из предприятий.

№ образца	Толщина окисла, нм	Продолжительность термического окисления, мин				Температура окисления, °C
		В сухом O <sub>2</sub>	Во влажном O <sub>2</sub>	В сухом O <sub>2</sub>	Суммарное время	
1	80	10	100	10	120	850
2	120	10	18	10	38	1000
3	120	90	-	-	90	1050
4	150	120	-	-	120	1050

Таблица. Режимы термического окисления при получении окислов образцов

Экспериментальные структуры подвергались воздействию гамма-излучения, источником которого являлся Co<sup>60</sup> с энергией гамма-квантов 1,3 МэВ и интенсивностью излучения 0,24 Мрад/час. При облучении структуры находились под напряжением смещения на затворе различной величины и полярности. До и после облучения измерялись высокочастотные ВФХ экспериментальных образцов. По сдвигу  $\Delta U_{MG}$  ВФХ на уровне емкости  $C_{MG}$ , соответствующей пересечению уровня Ферми середины запрещенной зоны кремния, рассчитывалось изменение плотности встроенного заряда в окисле:

$$\Delta Q_f = \Delta U_{MG} C_{MG}.$$

### Результаты эксперимента и их обсуждение

На рис. 1 показано, как изменяется плотность встроенного заряда в окисле различных экспериментальных структур при облучении в зависимости от напряженности поля в SiO<sub>2</sub>, которая рассчитывалась как

$$E = U/d,$$

где  $U$  – напряжение смещения на затворе,  $d$  – толщина диоксида кремния. Плюс на затворе соответствует положительным значениям электрической напряженности.

Из рис. 1 видно, что в результате облучения в диоксиде кремния встраивается положительный заряд. При этом характер наведения этого встроенного заряда зависит от величины и полярности прикладываемого на структуру напряжения. Следует отметить различный характер изменения заряда при увеличении модуля величины напряжения смещения для различных полярностей  $U$ . При увеличении абсолютного значения напряжения смещения отрицательной полярности происходит монотонное увеличение встроенного заряда в окисле. При этом наблюдается корреляция между скоростью изменения встроенного заряда и технологическими режимами формирования подзатворного диоксида кремния. В структурах с окислом, полученным по комбинированной схеме окисления (образцы №1 и 2), происходит более интенсивное увеличение положительного встроенного заряда при облучении по сравнению со структурами с сухим окислом.

На положительной оси характер радиационного изменения плотности фиксированного заряда в окисле существенно отличается по сравнению с характером изменения на отрицательной оси. Во-первых, необходимо отметить резкий скачок  $\Delta U_f$  при смене полярности напряжения смещения на затворе. Во-вторых, наблюдается немонотонный характер изменения заряда при увеличении напряженности с максимумом.

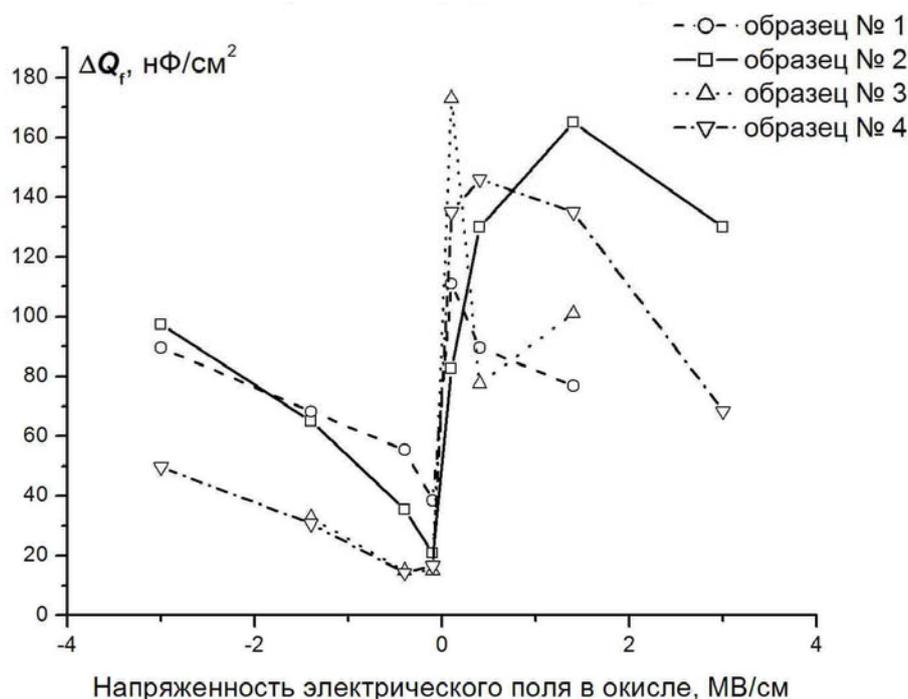


Рис. 1. Изменение плотности встроенного заряда в окисле экспериментальных структур при облучении под смещением

Таким образом, различный характер изменения плотности встроенного заряда для различных полярностей на затворе свидетельствует о различных механизмах деградации, происходящих при облучении. Элементарным актом взаимодействия гамма-кванта с диоксидом кремния является образование неравновесной электронно-дырочной пары и захват образованных дырок на напряженные кремний-кислородные связи в переходной области окисла [7–10]. При положительной полярности на затворе образованные носители заряда разделяются электрическим полем. Дырки из объема двигаются к границе раздела в направлении катода, а электроны стекают на затвор-анод. Неравновесные дырки, пришедшие из объема, участвуют в процессах дефектообразования, приводя к соответствующему увеличению положительного заряда. Смена положительной полярности на отрицательную приводит к резкому уменьшению интенсивности захвата неравновесных дырок, и, в этом случае, процессы увеличения радиационного заряда связаны с дырками, образующимися непосредственно в переходной области Si-SiO<sub>2</sub>.

Сложный характер поведения зависимости  $\Delta U_f(E)$ , на рис. 1 на положительной оси объясняется, по-видимому, тем, что с увеличением поля увеличивается кинетическая энергия неравновесных дырок, что понижает энергетический барьер для возникновения дефектообразования, в итоге происходит более интенсивное образование заряженных дефектов. Однако с дальнейшим увеличением напряженности часть дырок приобретает достаточную энергию для преодоления границ окисла, и дырки покидают окисел, не участвуя в процессах дефектообразования.

Как указывалось выше, при облучении под отрицательным напряжением на структуре наблюдается корреляция скорости изменения заряда с условиями термического окисления экспериментальных образцов. В случае облучения под положитель-

ным напряжением такой четкой корреляции не наблюдается. Объяснить механизм наблюдаемого явления пока не удастся, что требует проведение дополнительных исследований.

При отрицательной полярности затвора неравновесные дырки, индуцированные в объеме диоксида кремния, не участвуют в процессах образования и заряжения дефектов в приграничной к кремнию области  $\text{SiO}_2$ . В таком режиме заряжаются дефекты, концентрация которых зависит от условий термического окисления. В данном случае влажные окислы характеризуются большим изменением плотности заряда, обусловленного радиацией, по сравнению с сухими окислами (рис. 1).

Увеличение радиационного заряда при увеличении по модулю отрицательного напряжения смещения на затворе (рис. 1) обусловлено, по всей вероятности, уменьшением энергетического барьера для инжекции дырок из приповерхностной инверсионной области р-типа в приграничную область диоксида кремния.

### Заключение

Таким образом, показано, что характер радиационной деградации экспериментальных структур  $\text{Si-SiO}_2\text{-Si-Al}$  является различным для отрицательной и положительной полярностей смещения в период облучения, что обуславливается различием в механизме образования радиационных дефектов. Однако для более полного понимания рассмотренных в работе явлений необходимо проведение дополнительных исследований.

### Литература

1. Черняев В. Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. М.: Радио и связь, 1987. 464 с.
2. С. Зи, Физика полупроводниковых приборов. В 2-х кн. Кн. 1. М.: Мир, 1984, 455 с.
3. Зайцев Н. А., Шурчков И. О. Структурно-примесные и электрофизические свойства системы  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ . М.: Радио и связь, 1993. 192 с.
4. Урицкий В. Я. Формирование и электрофизические характеристики многослойных структур на основе системы кремний-диоксид кремния: Диссертация на соискание ученой степени д-ра физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 1995. 341 с.
5. Дракин К.А., Манжа Н.М., Патюков С. М., Чистяков Ю.Д. Стабилизация сопротивления пленок поликристаллического кремния при физикотермических воздействиях. // Электронная промышленность. 1988. В. 7. С. 35–38.
6. Глебов А.С., Зайцев Н.А., Манжа Н.М. Снижение величины эффективного заряда в МДП-структурах. // Электронная промышленность. 1994, № 1. С. 71–72.
7. Ringel H., Knoll M., Braunig D., Fahrner W.R. Charges in metal-oxide-semiconductor samples of various technologies induced by  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  and x-ray quanta. // J. Appl. Phys. 1985. V. 57. № 2. P. 393–399.
8. Lenahan P. M., Dressendorfer P. V. Radiation-induced paramagnetic defects in MOS structures. // IEEE Transactions on Nuclear Science. Dec. 1982. Vol. NS-29. P. 1459–1461.
9. Dragan M., Draghici I., Sachelarie D., Sachelarie M. Technology of the radiation hardened MOS devices. // Technology of the radiation hardened MOS. 1981. V. 33. №. 3. P. 285–296.
10. Васильева Е.Д., Колотов М.Н., Нахимович М.В., Соколов В.И. Зарядовые состояния переходной области  $\text{Si-SiO}_2$  при радиационной и термополевой обработке. // Микроэлектроника. 2000. Том 29. №1. С. 27–31.

# ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

С.В. Егоров

В работе представлена модель информационной защиты и проведен расчет информационной защищенности комплекса управления подвижными объектами. Информационная модель основывается на показателях защищенности отдельных средств защиты, а расчет основывается на игровой модели процессов защиты информации.

## Введение

При повсеместном внедрении новых информационных технологий и увеличении их влияния на жизнь общества особо важную роль приобретает проблема информационной безопасности. Для построения надежной информационной защиты необходимо выявить возможные угрозы информационной безопасности и определить меры и средства защиты, но все эти средства могут крайне неэффективно функционировать, если не проводить соответствующую оценку прочности информационной защиты [1, 2]. Острота и актуальность проблемы оценки информационной защищенности обусловлена тем, что сегодня не существует универсальной методики оценки эффективности системы защиты информации (СЗИ) [1]. Формирование научно-методологической базы для решения проблемы защиты сопряжено с большими трудностями, связанными с необходимостью учитывать подверженность процессов защиты влиянию трудно предсказуемых злоумышленных действий людей [3]. Поэтому множество предлагаемых формальных моделей СЗИ оказалось неприемлемым для адекватного отображения процессов защиты. Применение теории вероятностей и теории множеств дает субъективный результат, а модели на основе теории марковских цепей связаны с существенными ограничениями (каждая попытка вскрытия защиты не связана с предыдущими), что исключает их практическое использование [1].

В данной работе ставится задача, используя основы теории игр, составить алгоритм оценки информационной защищенности комплекса управления подвижными объектами (КУПО) и вывести оценку обобщенного показателя защищенности КУПО от НСД. В работе использовались данные эффективности средств защиты для каналов несанкционированного доступа в КУПО, полученные в работах [4, 5].

## 1. Объект исследования

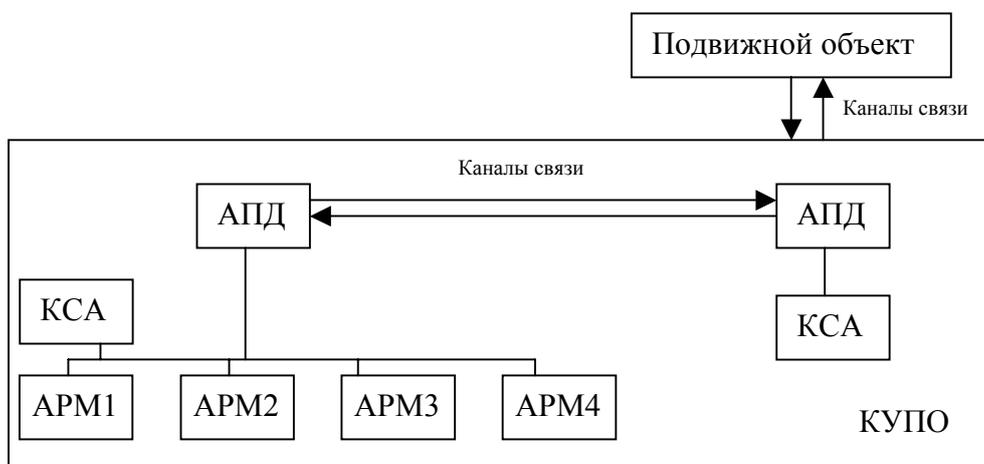


Рисунок. Схема комплекса управления подвижными объектами: АПД – аппаратура передачи данных; КСА- комплекс средств автоматизации; АРМ – автоматизированное рабочее место

В качестве объекта исследования выступает комплекс управления подвижными объектами. Этот комплекс представляет собой автоматизированную систему управления с распределенной обработкой данных, имеющую открытый радиоканал управления подвижным объектом. Схема этого комплекса изображена на рисунке.

## 2. Игровая модель защиты информации

Процесс защиты связан с конфликтом между стороной, которая обеспечивает безопасность информации и стороной, желающей незаконно получить ее. Очевидно, конфликт носит антагонистический характер, т.е. цели одной из сторон строго противоположны целям другой. Для анализа таких конфликтов лучше всего подходит теория игр, так как она позволяет моделировать действия обеих сторон [1]. Теория игр – это теория математических моделей принятия оптимальных решений в условиях конфликтов. Она дает возможность получить стратегию рационального поведения для достижения максимального выигрыша или максимальной вероятности выигрыша [6, 7].

В зависимости от ценности информации к системе защиты могут предъявляться различные требования. При этом возможны две принципиально различные ситуации, обуславливающие необходимость решения соответственно первой или второй задачи. Первая ситуация предполагает, что информация является конфиденциальной или составляет коммерческую тайну. В этом случае следствием потери информации для ее владельца будет экономический ущерб, который можно оценить количественно. Тогда назначение СЗИ состоит в том, чтобы обеспечить уровень защиты, который можно преодолеть только при затратах со стороны злоумышленника, сравнимых со стоимостью самой СЗИ и размером ущерба от потери информации. Задача оптимизации состоит в том, чтобы при заданном размере затрат на СЗИ обеспечить максимальный уровень защиты.

Вторая ситуация возникает, когда информация является государственной или военной тайной, и невозможно оценить стоимость ущерба от ее потери. Система защиты при этом должна обеспечить требуемый уровень безопасности информации (как правило, очень высокий, близкий к 1), а оптимизация состоит в минимизации затрат ресурсов для обеспечения заданного уровня защиты. В данной работе рассматривается КУПО, который относится к автоматизированным системам военного назначения (АС ВН).

Естественно предположить, что для организации защиты информации пользователь заранее проанализировал все возможные в его ситуации угрозы информации и выбрал защитные средства и организационные мероприятия таким образом, чтобы они перекрывали все угрозы. Тогда можно определить конечное число угроз и реакций на них системы защиты. Такие угрозы и средства защиты информации в КУПО выявлены и перечислены в работах [4, 5].

Главное достоинство теории игр при решении проблемы защиты состоит в том, что она определяет стратегию рационального поведения как стороны, обеспечивающей безопасность информации, так и злоумышленника. Анализ оптимальной стратегии последнего дает возможность вскрыть недостатки системы защиты и улучшить ее. Такая модель относится к классу игр с неполной информацией [1].

## 3. Оцениваемые показатели и расчетные соотношения

В результате анализа технического задания, программной и эксплуатационной документации на конкретный вариант исполнения экспертами определяются следующие характеристики:  $l$  – количество объектов КУПО;  $m$  – количество защитных механизмов, используемых в тестируемой КУПО;  $n$  – количество угроз НСД к объектам КУПО;  $\mu_{ik} \in [0;1]$ ,  $i=1, \dots, n$  – коэффициенты опасности угроз НСД к объектам КУПО;

$\gamma_{ijk} \in ]0;1]$ ,  $j=1, \dots, m$  – коэффициент эффективности использования механизма защиты  $j$  от  $i$ -й угрозы НСД к объектам КУПО;  $a_{ik}$  – затраты на реализацию угроз на объектах КУПО;  $b_{jk}$  – стоимость средств защиты на объектах КУПО;  $C_k$  – информационная ценность объектов КУПО. Тогда, используя материалы [1, 4, 5], можно построить платежную матрицу, описывающую все возможные информационные воздействия на КУПО при использовании различных вариантов, применяемых в тестируемой автоматизированной системе мер и средств защиты информации.

$$\varphi_{i\theta}^k = \frac{C_k \mu_{ik}}{a_{ik}} \left[ 1 - (1 - \gamma_{i\theta k}) \frac{B}{lb_{\theta k}} \right], \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, n, \quad \theta = 1, \dots, w, \quad k = 1, \dots, l, \quad w = 2^m - 1,$$

где  $\varphi_{i\theta}^k$  – элемент платежной матрицы для объекта  $k$ ;  $\gamma_{i\theta k} = \prod_{j=1}^m \gamma_{jk} h_{j\theta} \quad \forall h_{j\theta} = 1$ ;  $h_{i\theta}$  –

коэффициент использования механизма защиты  $j$  в варианте СЗИ  $\theta$ ,  $b_{\theta k} = \sum_{j=1}^m b_{jk} h_{j\theta}$ ;

$B$  – суммарная стоимость СЗИ тестируемого КУПО,

Тогда обобщенный показатель защищенности объекта КУПО от НСД  $Q_{\theta}^k$  определяется выражением

$$Q_{\theta}^k = \frac{V_{\theta m}^k}{V_{\theta}^k}, \quad (2)$$

где  $V_{\theta m}^k$  – значение цены игры, задаваемой формулой (1), в смешанных стратегиях;  $V_{\theta}^k$  – значение цены игры для используемого в КУПО варианта СЗИ  $\theta$ .

Показатель защищенности КУПО от НСД  $Q_{КУПО}$  рассчитывается по формуле

$$Q_{КУПО} = \frac{\sum_{k=1}^l Q_{\theta}^k}{l}. \quad (3)$$

Значения показателей  $\mu_{ik}$ ,  $\gamma_{ijk}$ ,  $a_{ik}$ ,  $b_{jk}$ ,  $C_k$  предлагается определять экспертно на основе прямого установления предпочтений путем попарных сравнений [1]. Затем в соответствии с таблицей определяется класс защищенности представленной на испытании АС ВН.

Класс защищенности КУПО	Значение показателя защищенности КУПО
1А	0.84-1.0
1Б	0.68-0.84
1В	0.52-0.68
1Г	0.36-0.52
1Д	0.20-0.36

Таблица. Требования по защищенности КУПО от НСД

Решение о соответствии КУПО требованиям по защищенности от НСД принимается на основе сравнения результатов рассчитанного класса защищенности с требованиями, определенными в программе испытаний. При расчете обобщенного показателя

защищенности КУПО, используя поле угроз, характерных для информационной модели КУПО[4, 5], получен результат 0,74, что соответствует классу защищенности 1Б.

Очевидно, что со временем у злоумышленника будут появляться все более совершенные средства для взлома СЗИ. Кроме того, постепенно он будет приобретать какой-то опыт по вскрытию защиты, как бы она ни изменялась и модифицировалась. Поэтому важнейшей характеристикой, не учитываемой известными формальными моделями, является учет изменения эффективности защиты с течением времени. В теории игр эту проблему можно решить, моделируя игры с учетом обесценивания информации. При этом вводится коэффициент  $R[0,1]$ , являющийся функцией зависимости ценности информации от времени. При оценке эффективности защиты в разные моменты времени достаточно умножить элементы матрицы на значение  $R$ , соответствующее этому моменту времени, и снова решить задачу. Такой метод выгодно отличается наглядностью и объективностью.

### Заключение

В работе была представлена модель расчета информационной безопасности КУПО, основанная на игровой модели системы защиты информации и информационной модели КУПО. Информационная модель составляется на основе показателей прочности отдельных средств информационной защиты.

По результатам экспертной оценки прочности защиты каждого средства защиты информации для соответствующих угроз безопасности информации был проведен расчет и получен обобщенный показатель защищенности всей системы защиты. Полученный результат соответствует классу защищенности 1Б.

Работа позволяет оценить информационную защищенность комплекса управления подвижными объектами и может послужить основанием для внесения изменений в перечень применяемых средств защиты с целью повышения информационной защиты охраняемого объекта. Достоинством метода является возможность внесения изменений в перечень применяемых средств защиты на основании как требуемого показателя защищенности, так и стоимостного ограничения.

### Литература

1. Воробьев А.А. Анализ моделей процессов защиты информации от несанкционированного доступа в автоматизированных системах. // Информатика – машиностроение. 1999. №2. С. 32–34.
2. Мельников В.В. Безопасность информации в автоматизированных системах. М.: Финансы и статистика, 2003. 368 с.
3. Воробьев А.А. К вопросу оценивания качества системы защиты информации. / Проблемные вопросы сбора, обработки и передачи информации в сложных радиотехнических системах. Тез. докл. третьей межведомственной научно-технической конференции. СПб.: Пушкин, ВУРЭ ПВО, 1997.
4. Егоров С.В. Расчет информационной защищенности комплекса управления подвижными объектами. // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2005. №20. С.181–185.
5. Егоров С.В. Расчет информационной прочности в комплексах управления подвижными объектами. // Сборник научных трудов II конференции молодых ученых университета СПбГУ ИТМО. СПб, СПбГУ ИТМО, 2005. Т. 1. С. 148–155.
6. Оуэн Г. Теория игр. / Пер. с англ. М.: Мир, 1971.
7. Шишкин Е.В. От игр к играм. Математическое введение. Изд. 2-е, исправл. М.: Едиториал УРСС, 2003. 112 с.

# МЕТОД ИНВАРИАНТНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ, ЗАДАНЫХ В ВЕКТОРНОЙ ФОРМЕ

Н.Ю. Иванова, А.А. Малинин, Ю.Б. Таяновская

Предлагается метод классификации векторных изображений, который может использоваться для инвариантного анализа изображений, заданных в векторной форме, и применяться для корректировки чертежей и распознавания текста.

## Введение

Переход на новые информационные технологии обработки и хранения информации ставит задачи ввода уже накопленной информации в ЭВМ. Для ввода информации применяются различные методы распознавания образов [1]. Распознавание образов включает в себя такие задачи, как классификация объектов, распознавание сигналов рукописного текста, ввод в компьютер текстовых документов и чертежей [2].

Предлагаемый метод предназначен для распознавания плоских графических изображений, таких как печатные тексты и конструкторские чертежи. Методы распознавания обычно решают одну задачу, которая имеет ограничения на формат и ориентацию располагаемых объектов. Метод инвариантен к повороту и линейным искажениям, возникающим при оцифровке вводимого документа, за счет перехода от растрового представления объектов к векторному. Это позволяет избавиться от сложностей анализа двумерных массивов информации, представляющей образ.

## Векторная форма изображения объекта

Объект при векторном представлении кодируется как взвешенный граф, весом вершин которого являются координаты соответствующей вершины. На рис.1 приведен такой граф и соответствующие ему матрица смежности (табл. 1) и список весовых коэффициентов вершин (табл. 2).

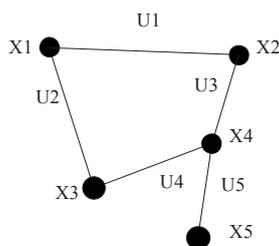


Рис. 1. Взвешенный граф

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
X <sub>1</sub>	0	1	1		
X <sub>2</sub>	1	0		1	
X <sub>3</sub>	1		0	1	
X <sub>4</sub>		1	1	0	1
X <sub>5</sub>				1	0

Таблица 1. Матрица смежности

Вершины	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
Координаты вершин	1,45	5,6	2,12	4,89	3,77

Таблица 2. Весовые нагрузки вершин

Образцы, по которым производится классификация изображений объекта, задаются в виде взвешенных графов. Для этих графов вес вершин определяется допустимыми значениями угла между инцидентными ей ребрами, а вес ребер определяется признаком вида соответствующих линий, соединяющих вершины инцидентные ребрам. Таким образом, ребрам взвешенного графа ставятся в соответствие признаки, которые определяют образцы типов линий. В качестве взвешенного ребра можно использовать несколько ребер исходного графа, если их взаимное расположение удовлетворяет данному образцу типа линий. Среди образцов выделим следующие: прямая линия, кривая выпуклая линия, произвольная линия и т.д. При таком выборе образцов граф будет «похож» на изображение, которое он описывает.

Вес вершины такого графа зависит от взаимного расположения ребер графа. Для различных пар типов линий вес будет определяться по-разному, но для любой такой пары вес вершины характеризуется тремя следующими параметрами: инцидентность, угол, угол. Инцидентность равна 0, если данная вершина не инцидентна данному ребру, если же инцидентность равна 2, то данное ребро считается главным при вершине. Главное ребро используется как точка отсчета, т.е. все углы, входящие в вес, отсчитываются относительно главного ребра.

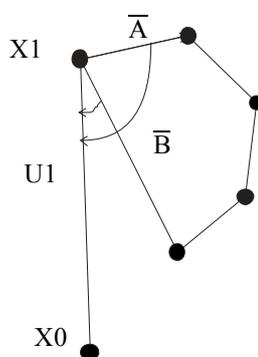


Рис. 2. Отсчет параметра «угол» в виде диапазона значений векторов

На рис. 2 показано начальное (А) и конечное (В) положение радиус-вектора относительно ребра U1 (кривая выпуклая линия изображена в виде участка исходного графа). Отсчет углов задается в виде диапазона начальное значение–конечное значение. Если угол между ребрами исследуемого графа изображения попадает в этот интервал, взаимное расположение ребер считается допустимым. Если взаимное расположение прямой и выпуклой кривой задано как  $(N; M)$ , причем  $N > M$ , то угол начального положения должен быть больше угла конечного положения. Для векторов А и В на рис.2 этот интервал равен  $(110; 15)$  и считается допустимым.

Взаимное расположение ребер будем определять из предположения, что имеется  $k$  образцов типов линий, которые задают  $k$  типов последовательностей вершин графа. Тогда количество возможных пар типов будет равно  $k \times k$ . Поскольку используются два типа линий (прямая (П) и кривая выпуклая (КВ)), то возможных пар будет 4. Дадим определение для каждой из пар типов линий.

- Прямая - прямая линия (ПП), угол между прямыми определяется, как угол между направляющими векторами прямых линий.
- Прямая – кривая выпуклая линия (ПКВ), взаимное расположение прямой линии и кривой выпуклой линии задается двумя углами:
  1. углом между направляющим вектором прямой и начальным положением радиус-вектора кривой;
  2. углом между начальным и конечным положением радиус-вектора кривой.

- *Кривая выпуклая - прямая линия (КВП)*, взаимное расположение кривой выпуклой линии и прямой линии задается двумя углами:
  1. углом между начальным положением радиус-вектора кривой и направляющим вектором прямой;
  2. углом между начальным и конечным положением радиус-вектора кривой.
- *Кривая выпуклая - кривая выпуклая линия (КВКВ)*, взаимное расположение последовательностей данных типов задается тремя углами:
  1. углом между начальными положениями радиус-векторов;
  2. углом между начальным и конечным положением радиус-вектора первой кривой;
  3. углом между начальным и конечным положением радиус-вектора второй кривой.

Для графа (рис.3) используются следующие типы линий: П – прямая линия, КВ – кривая выпуклая, 0 - связь отсутствует. Рассмотрим задание образца на примере данного графа. Для этого построим матрицу инцидентности (табл. 3) и таблицу весовой нагрузки вершин графа (табл. 4).

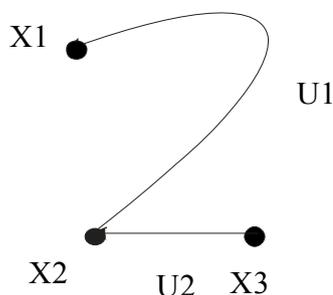


Рис. 3. Граф

	X1	X2	X3
U1	(2,(0,0),(0,225))	(2,(0,0),(0,330))	(0,(0,0),(0,0))
U2	(0,(0,0),(0,0))	(1,(0,0),(0,0))	(1,(0,0),(0,60))

Таблица 3. Матрица инцидентности

	U1	U2
U1	КВ	0
U2	0	ПЛ

Таблица 4. Весовая нагрузка вершин

Для каждой из крайних вершин кривой выпуклой линии указываются начальное и конечное положение радиус-вектора, исходящего из данной вершины. На рис. 4, 5 показано начальное (А) и конечное (В) положение радиус-вектора в вершинах X1 и X<sub>к</sub> и угол между начальным и конечным положением радиус-вектора. На рисунках изображена выпуклая оболочка с вершинами X1 и X<sub>к</sub>.

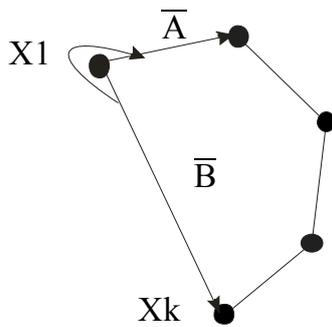


Рис.4. Начальное положение в крайней вершине выпуклой линии

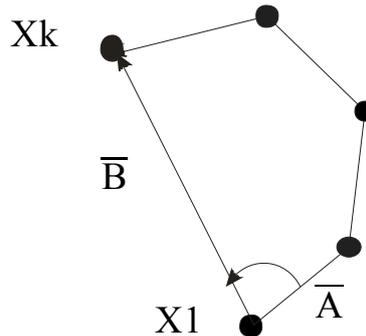


Рис. 5. Конечное положение в крайней вершине выпуклой линии

### Алгоритм анализа и распознавания изображения

Задача анализа и распознавания изображения формулируется следующим образом: из данного графа выделить подграф, изоморфный графу-образцу. Для этого достаточно каждой вершине графа-образца поставить в соответствие одну из вершин графа изображения таким образом, чтобы каждому ребру графа-образца соответствовал ациклический путь в графе изображения, а последовательность вершин пути удовлетворяла бы весовой нагрузке ребра графа-образца.

Для этого необходимо проверять вершины входного графа (изображения) на роль вершин графа-образца, а пути между ними – на соответствие нагрузкам ребер графа-образца. Этот процесс представляет собой рекурсивный поиск. По теореме Клини существуют такие конкретно примитивные рекурсивные функции  $U$  от одной переменной и  $T_N$  от  $n+2$  переменных, что для любой любой рекурсивной функции  $\varphi$  от  $n$  переменных найдется натуральное число  $e$ , для которого будет действительно условное равенство

$$\Phi(x_1, \dots, x_n) \cong U(\mu y (T_n(e, x_1, \dots, x_n, y) = 0)).$$

Здесь  $e$  – генделев номер функции  $\varphi$ .

Из этой теоремы следует, что для любой рекурсивной функции  $\varphi$  от  $n$  переменных и для любых натуральных чисел  $x_1, \dots, x_n$  имеет место условное равенство

$$\varphi(x_1, \dots, x_n) \cong \Phi_n(e, x_1, \dots, x_n).$$

Рекурсивный поиск лучше начинать с вершин, имеющих наибольшую степень, и выбирать каждый раз из инцидентных ей вершин одну с наибольшей степенью. Процесс заканчивается, когда каждой вершине графа-образца сопоставлена вершина из графа изображения.

Классификация исследуемого графа происходит на основании сравнения его со всеми образцами путем высчитывания для каждого совпадения графа с образцом степени их соответствия. Если в процессе перебора находится образец со степенью

соответствия, равной 100%, то дальнейший поиск останавливается, а граф относится к тому классу, образец которого показал наибольшую степень соответствия.

### **Заключение**

В статье рассмотрен оригинальный метод анализа плоского геометрического изображения, инвариантного к повороту и линейным искажениям, возникающим при оцифровке вводимого документа, что достигается за счет перехода от растрового представления объектов к векторному и позволяет избавиться от сложного анализа двумерных массивов информации, представляющих образ анализируемого изображения.

Метод позволяет достаточно точно классифицировать графические изображения, независимо от их ориентации на плоскости и наличия небольших линейных искажений, а также добавлять новые классы объектов и вводить для одного и того же класса объектов несколько образцов.

### **Литература**

1. Бутаков Е.А., Островский В.И., Фадеев И.Л. Обработка изображений на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1987. 238 с.
2. Кузин Л.Т. Основы кибернетики. / Т.2. М.: Энергия, 1979. 584 с.

# СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД УЧЕТА НА ПРЕДПРИЯТИИ: СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕТА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Н.С. Кармановский, О.В. Елисеев, Г.С. Александров

В статье представлен обзор существующих баз данных. Рассматриваются их достоинства и недостатки. Представляется пример реально разработанной и введенной в опытную эксплуатацию базы данных на конкретном предприятии.

## Введение

Современная жизнь немыслима без управления. Для эффективного управления необходимо анализировать массу информации и в зависимости от анализа принимать то или иное решение. В мире высоких технологий существует большое количество систем обработки и анализа информации, созданных для оптимизации и упрощения управления, от которых во многом зависит эффективность работы любого предприятия или учреждения. Такая система должна: обеспечивать получение общих и/или детализированных отчетов по итогам работы, позволять легко определять тенденции изменения важнейших показателей, обеспечивать получение информации, критической по времени, без существенных задержек, выполнять точный и полный анализ данных.

Несомненно, существенную значимость среди совокупности всех этих систем нишу имеют всевозможные базы данных (БД).

Современные системы управления БД (СУБД) в основном являются приложениями Windows и прочих операционных систем, использующие все возможности персональных компьютеров.

Среди наиболее ярких представителей систем управления базами данных можно отметить: Lotus Approach, Microsoft Access, Borland dBase, Borland Paradox, Microsoft Visual FoxPro, а также Microsoft SQL Server и Oracle, используемые в приложениях, построенных по технологии «клиент–сервер». Фактически, у любой современной СУБД существует аналог, выпускаемый другой компанией, имеющий аналогичную область применения и возможности, любое приложение способно работать со многими форматами представления данных, осуществлять экспорт и импорт данных благодаря наличию большого числа конвертеров. Общепринятыми также являются технологии, позволяющие использовать возможности других приложений, например, текстовых процессоров, пакетов построения графиков и т.п., встроенные версии языков высокого уровня (чаще – диалекты SQL и/или VBA) и средства визуального программирования интерфейсов разрабатываемых приложений. Поэтому уже не имеет существенного значения, на каком языке и на основе какого пакета написано конкретное приложение и какой формат данных в нем используется. В одном ряду с «классическими» СУБД все чаще упоминаются языки программирования Delphi и Visual C++, которые позволяют быстро создавать необходимые компоненты приложений, критичные по скорости работы, которые трудно, а иногда невозможно разработать средствами «классических» СУБД. Современный подход к управлению базами данных подразумевает также широкое использование технологии «клиент–сервер» [1, 2].

Таким образом, на сегодняшний день разработчик не связан рамками какого-либо конкретного пакета, а в зависимости от поставленной задачи может использовать самые разные приложения.

Авторы статьи разработали систему автоматизированного учета измерительного и контрольно-поверочного оборудования, находящегося на балансе предприятия. Эта система представляет собой оригинальную базу данных и систему управления этой базой. Актуальность и новизна разработки обусловлена в компактности и доработки к конкретному стандарту предприятия.

СУБД позволяет формировать определенные виды запроса:

- выдача списка приборов, у которых закончился срок метрологической поверки,
- выдача информации по содержанию и объему драгоценных металлов, содержащихся в приборах,
- вывод изображения прибора, его технических характеристик и возможность их редактирования,
- автоматизированная выдача документации, использованной в рамках предприятия.

Актуальность разработки определяется необходимостью эффективного контроля за измерительным и контрольно-поверочным оборудованием, своевременного анализа информации о состоянии этого оборудования [3, 4].

### **Принципы организации данных, лежащие в основе современных СУБД**

Современные СУБД являются объектно-ориентированными и реляционными. Основной структурной единицей является объект, имеющий свойства и связи с другими объектами. СУБД используют несколько моделей данных: иерархическую и сетевую (с 60-х годов), а также реляционную (с 70-х годов). Выделим основное различие данных моделей в представлении взаимосвязей между объектами.

*Иерархическая модель данных* строится по принципу иерархии объектов, т.е. один тип объекта является главным, все нижележащие – подчиненными. Устанавливается связь «один ко многим», т.е. для некоторого главного типа существует несколько подчиненных типов объектов.

*Сетевая модель данных* строится по принципу «главный и подчиненный тип одновременно», т.е. любой тип данных может одновременно порождать несколько подчиненных типов (быть владельцем набора) и быть подчиненным для нескольких главных (быть членом набора).

*Реляционная модель данных:* объекты и связи между ними представляются в виде таблиц, при этом связи тоже рассматриваются как объекты. Все строки, составляющие таблицу в реляционной базе данных, должны иметь *первичный ключ*.

Наиболее перспективной данных для СУБД является реляционная модель. На базе реляционной модели разработана база данных, описываемая в настоящей статье. В реляционной модели достигается более высокий уровень абстракции данных. Вся информация о приборе хранится в двух местах:

- общая информация для всех приборов – в единой таблице,
- технические характеристики каждого типа приборов – в своей таблице.

Это обусловлено тем, что технические характеристики приборов и их состав сильно различаются между собой. Для различных типов приборов создавались формы отображения технических характеристик, значения которых составляют детализированную таблицу. Одна часть содержит общие сведения об измерительном и контрольно-поверочном оборудовании, а вторая содержит технические характеристики этого оборудования.

На основании анализа существующих средств разработки баз данных и требований к разрабатываемой системе было принято решение выбрать в качестве языка программирования Delphi 7, так как он отвечает всем необходимым условиям и поддерживает синтаксис языка запросов Microsoft SQL Server 2000.

### **Разработка структуры и основных форм БД структуры**

В программный пакет Delphi 7 входят следующие утилиты: BDE Administrator; Database Desktop; Delphi7; Datapump; Image Editor; SQL Explorer; SQL Monitor; Win-Sight32; XML Mapper.

Database Desktop является удобной утилитой для создания структур баз данных. Database Desktop предлагает на выбор список форматов возможных структур БД. При выборе типа будущей таблицы следует учитывать то, какого типа данные будут в ней храниться. Так как разрабатываемая структура не будет содержать каких-либо особенных данных, то выбор был остановлен на таблице Paradox 7, поддерживающей все необходимые типы. После выбора таблицы создаем в ней необходимые поля и указываем тип данных, которые будут храниться в них. В разрабатываемой системе большинство входных данных будет состоять из набора букв и цифр, следовательно, таблицы должны «понимать» такую информацию. На рис. 1 приведен общий вид утилиты Database Desktop в процессе создания первой таблицы Paradox.

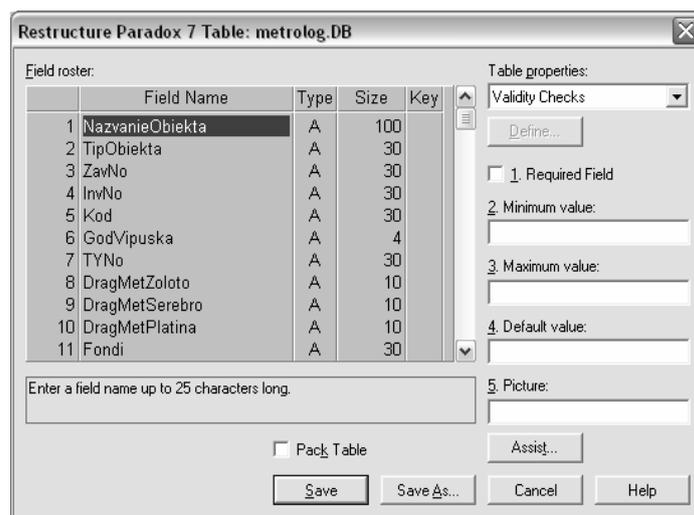


Рис. 1. Общий вид структуры хранения данных

Таким образом, реализуется поставленный в техническом задании пункт о создании структуры БД, содержащей общую и техническую информацию по измерительно-му и контрольно-поверочному оборудованию. После окончания редактирования таблиц и приведения их к необходимому виду сохраняем структуру.

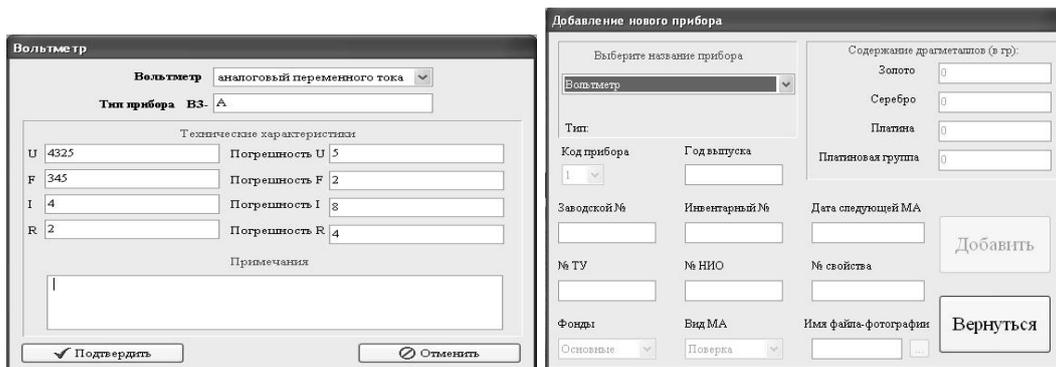
### Разработка основных форм

Для создания основных форм запроса, добавления и отображения базы данных воспользуемся непосредственно объектно-ориентированным языком программирования Delphi 7. На рис. 2 представлен внешний вид графической оболочки Delphi 7.

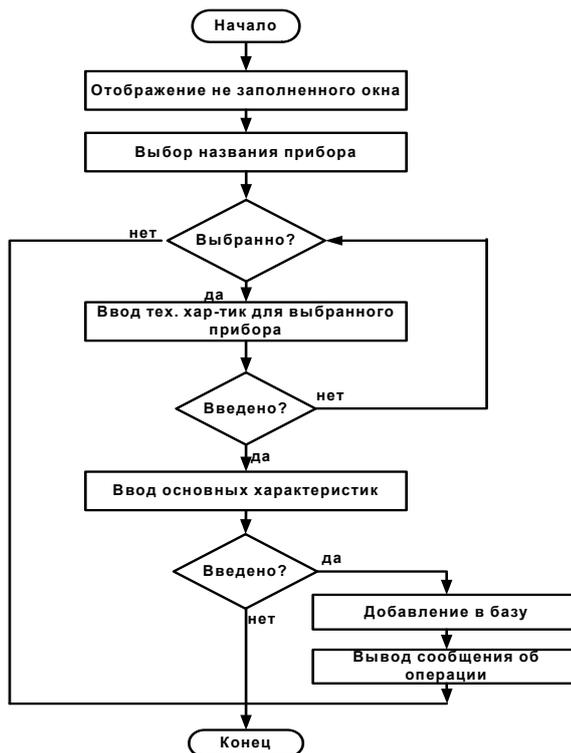


Рис. 2. Внешний вид панели инструментов Delphi 7

Работа в Delphi основана на визуально-осязаемых компонентах, таких как кнопки, диалоговые окна, текстовые вставки и многое другое. Для задания внешнего вида СУБД сначала создаем форму. Форма – это заготовка стандартного исполняемого окна в Windows. Помещаем на нее из строки компонентов Delphi необходимые элементы. После утверждения желаемого графического интерфейса создаем основную форму [5, 7– 9]. На рис. 3 аналогичным образом, оперируя стандартными компонентами Delphi, показана созданная нами алгоритм и форма добавления нового элемента БД.



а



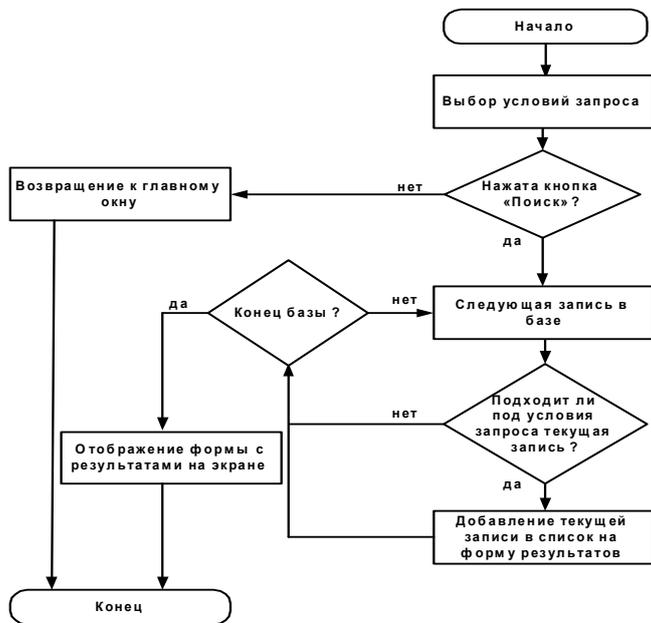
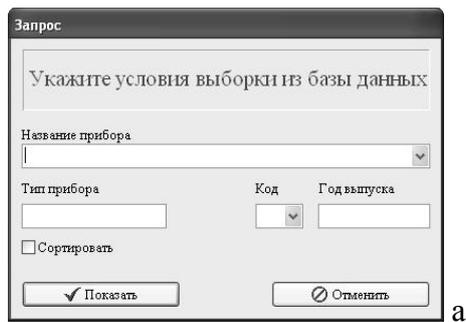
б

Рис. 3. Форма добавления нового элемента: а – интерфейсный вид окон: б – алгоритм работы добавления элемента

Выбирается название прибора в отображенном незаполненном окне. При подтверждении выбранного прибора осуществляется ввод технических характеристик, после чего вводятся основные характеристики этого прибора. При подтверждении ввода данные будут добавлены в базу и будет выведено сообщение об успешной операции.

Рассмотрим подробнее форму запроса, утвержденную заказчиком. Запрос – это выборка из БД отдельных записей по следующим условиям: по названию прибора, по типу прибора, по коду прибора, по году выпуска прибора. На рис. 4 приведено графическое изображение формы запроса, а также показан его алгоритм работы.

Схему работы алгоритма изменения общих и технических характеристик прибора можно представить следующим образом. При его работе происходит считывание из БД характеристик выделенного прибора, который задал пользователь, с их дальнейшим выводом на экран. На этом этапе возможно редактирование и подтверждение обновления данных в базе.



б

Рис. 4. Форма запроса: а – экранный вид запроса; б – алгоритм работы запроса

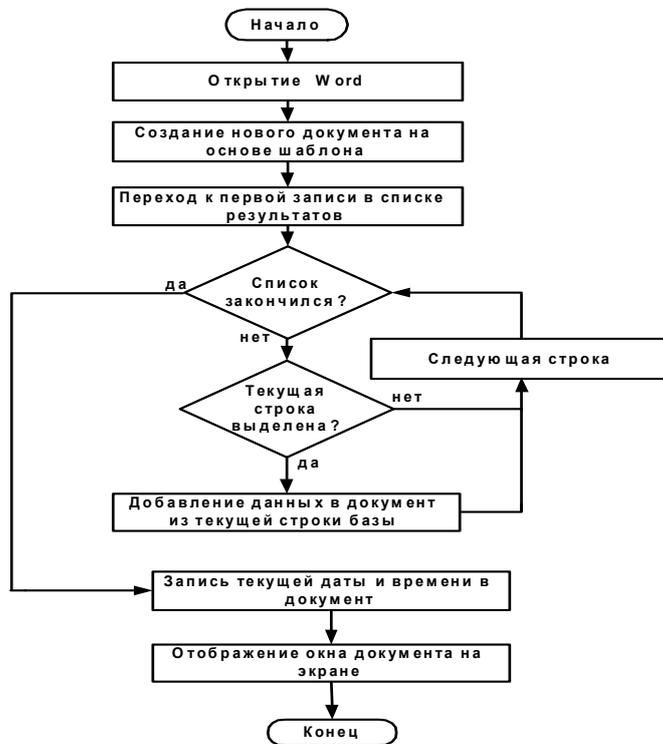


Рис. 5. Алгоритм создания отчета

Работа алгоритма создания перечня приборов, подлежащих поверке, изображена на рис. 5. При создании отчета сначала происходит открытие Word, где создается новый документ на основе шаблона и осуществляется переход к первой записи в списке результатов. Далее происходит поиск выделенных строк и занесение их в документ из базы. После обработки всего списка текущая дата и время записываются в документ с его последующим отображением на экран.

### Заключение

В статье были рассмотрены следующие системы управления базами данных: Lotus Approach, Microsoft Access, Borland dBase, Borland Paradox, Microsoft Visual FoxPro, а также Microsoft SQL Server и Oracle, используемые в приложениях, построенных по технологии «клиент–сервер». Сегодня уже не имеет значения, на каком языке и на основе какого пакета написано конкретное приложение, и какой формат данных в нем используется. На основании обзора выбран путь, наиболее удобный для разрабатываемой системы. Более того, стандартом «де-факто» стала «быстрая разработка приложений» или RAD (от английского Rapid Application Development), основанная на широко декларируемом в литературе «открытом подходе», т.е. необходимость и возможность использования различных прикладных программ и технологий для разработки более гибких и мощных систем обработки данных. Поэтому в одном ряду с «классическими» СУБД все чаще упоминаются языки программирования Delphi и Visual C++, которые позволяют быстро создавать необходимые компоненты приложений, критичные по скорости работы, которые трудно, а иногда невозможно разработать средствами «классических» СУБД. В статье рассмотрена введенная в опытную эксплуатацию конкретная база данных по документированию и учету контрольно-поверочного оборудования. Исследованы и применены на практике алгоритмы программирования БД.

### Литература

1. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных / Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 360 с., ил.
2. Кандзюба С.П., Громов В.Н. Delphi 6/7. Базы данных и приложения. Лекции и упражнения, 2003
3. Нечаев В.М. Microsoft Excel. Электронные таблицы и базы данных в задачах. 2001.
4. Яргер Р. Дж., Риз Дж., Кинг Т. MySQL и mSQL. Базы данных для небольших предприятий и Интернета. 2000.
5. Архангельский А.Я. 100 компонентов общего назначения библиотеки Delphi5. 1999.
6. Послед Б. Access 2000. Базы данных и приложения. Лекции и упражнения. 2000.
7. Фаронов В.В. Delphi 5. Руководство программиста. 2001.
8. Архангельский А.Я. Delphi 6. Справочное пособие. 2001.
9. Кэнту М. Delphi 7 для профессионалов. Delphi 7 Mastering. 2004.
10. материалы сайта [www.delphimaster.ru](http://www.delphimaster.ru)
11. материалы сайта [www.delphikingdom.com](http://www.delphikingdom.com)

# МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОЛОЧКИ EXSYS CORVID

Д.И. Муромцев

В статье приводится методика и краткое описание реализации экспертных систем на базе оболочки Exsys CORVID. Предлагается схема использования данного инструментария в рамках практических занятий по дисциплине «Экспертные системы».

## Введение

Эффективность преподавания технологии экспертных систем в значительной степени зависит от практической апробации студентами полученных теоретических навыков. Чаще всего лабораторные занятия сводятся к изучению основ языка Пролог и разработке простейших Пролог-программ. Иногда спектр изучаемых инструментальных средств расширяется языком ЛИСП. Но, учитывая, что, как правило, на данную дисциплину отводится один семестр, понимание студентами принципов и назначения экспертных систем остается недостаточным. Язык Пролог, безусловно, нужен для изучения основ логического программирования, но его логичнее преподавать в рамках специализированного курса для близких к искусственному интеллекту специальностей. То же самое касается и языка ЛИСП. Для общего курса дисциплины, не ориентированной на специалистов в области систем искусственного интеллекта, более эффективным решением является использование оболочек экспертных систем в качестве практической составляющей. На рынке представлено достаточно много подобных инструментальных средств.

Одним из лидеров является система EXSYS CORVID. Отличительной особенностью данной системы является ориентированность на университеты, наличие специальных академических программ. Начиная с 1985 года, данная система используется в учебных лабораториях сотен университетов различных стран, включая США, страны Западной и Восточной Европы, Азии, Латинской Америки, Прибалтики и пр. Вместе с тем, EXSYS не является исключительно учебной системой: по данным разработчика системы, из 100 наиболее преуспевающих компаний более 50% используют EXSYS. Ею также пользуются многие правительственные, военные структуры и тысячи предприятий по всему миру.

## Методология и средства EXSYS CORVID

В системе EXSYS CORVID представлен набор эффективных средств, реализующих отдельные этапы создания экспертных систем и методологии представления знаний. Основным инструментарием в Exsys является традиционная подсистема продукционных правил. Данная подсистема реализует классическую и наиболее распространенную форму представления знаний в виде правил «IF...THEN...». Система предоставляет развитый интерфейс для наполнения базы знаний продукциями на основе естественно-языковых структур. Реализована поддержка наиболее распространенных моделей представления нечетких знаний с возможностью их расширения.

Альтернативный подход заключается в представлении знаний в виде иерархически организованных объектно-ориентированных структур. Данный подход весьма эффективен при программировании, но зачастую он с трудом вписывается в процесс принятия решений человеком. Однако большинство проблем, не вписывающихся в объектно-ориентированную методологию, с успехом могут быть решены с использованием *объектно-структурированных* компонент. Различие между *чистым объектно-*

*ориентированным* программированием и *структурированным объектно-ориентированным* программированием лежит в основе популярности языка Microsoft's Visual Basic (VB). VB не является чистым объектно-ориентированным языком, хотя и обладает многими объектно-ориентированными свойствами. Это упрощение позволяет зачастую эффективно использовать VB вместо комбинации нескольких других языков. CORVID основан на аналогичной VB модели. Данная система предоставляет объектно-ориентированные структуры, позволяющие эффективно разрабатывать экспертные системы на основе методов и атрибутов *переменных* (Variables), в то же время не требуя от разработчика изменять привычный подход описания процесса принятия решений в виде структур «Если ... То ... ». В результате процесс разработки становится более гибким и мощным в сравнении с традиционными методами. Отличительной особенностью подхода является простота его изучения. В CORVID включены 7 типов переменных, предоставляющих широкий набор функций. Приобретение данных и знаний на основе *сбора переменных* (Collection Variable) обогащается за счет повторного использования и отрывает ряд новых возможностей. Изменение методов и атрибутов переменных позволяет использовать их для выработки новых путей решений проблем, получения и представления результатов.

В EXSYS CORVID предлагается новая концепция управления логикой принятия решений – *логические блоки* (Logic Blocks). В ранних версиях системы использовались одиночные Если/То правила и логические диаграммы в виде деревьев. Однако во многих системах для описания решений отдельных шагов требуются множества деревьев и правил, что усложняет структуры базы знаний. Логические блоки являются организованным множеством правил и деревьев, ориентированных на реализацию определенной функции и предоставляющих новые возможности по сравнению однородной базой знаний в виде правил. Таким образом, база знаний может быть организована в виде блоков так же, как организуются объекты в объектно-ориентированных системах. Активизация логических блоков может быть основана как на прямом или обратном выводе, так и на их комбинации. Логические блоки могут быть ассоциированы с внешними источниками данных (табличными файлами данных), позволяющими последовательно применять функции блока к каждому набору данных (строке таблицы). Таким образом, становится возможной разработка *обобщенной* (genetic) системы, что актуально для задач выбора с частым изменением параметров.

Следует отметить развитие средства разработчика логических блоков, реализованные в EXSYS CORVID. К ним относятся, в частности, средства визуальной разработки.

Новаторским решением CORVID является реализация интерфейса пользователя на основе интерактивных динамических Web-страниц. Интерфейс пользователя может включать, наряду с текстовой информацией, изображения в формате JPG или GIF. Одной из функций системы является распространение готовой экспертной системы в виде компактных (~100k) Java-апплетов, что позволяет включить систему как компонент в существующие Web-сайты. Система CORVID предлагает средства доступа к CGI, ASP и JSP страницам для выполнения вычислений на стороне сервера.

Альтернативой распространению готовых систем с использованием Web-страниц и Java-апплетов является метод на базе Servlet Runtime, позволяющий полностью исполнять систему на стороне сервера. Взаимодействие с пользователем в этом случае осуществляется через HTML формы.

Одна и та же система может распространяться в виде апплетов, сервлетов или отдельного приложения. Использование современных сетевых технологий, активно применяющихся в Интернет при решении целого ряда задач, открыло новые области применения и возможности для использования экспертных систем за счет высокой степени интерактивности, простоты доступа пользователей к системе и колоссального охвата аудитории.

## Методика проведения практических занятий

Практические занятия с использованием оболочки экспертных систем EXSYS CORVID позволяют сконцентрировать внимание студентов на основных и наиболее важных аспектах: инженерия знаний, проектирование структуры базы знаний, конфигурирование подсистемы логического вывода.

Весь объем практических занятий предлагается разбить на следующие группы лабораторных работ.

1. Практикум в системе EXSYS CORVID, включающий 6 лабораторных работ. Основная цель данного этапа – приобретение студентами навыков работы с системой на простейших примерах. Следуя методическим указаниям, студенты учатся наполнять базу знаний, управлять процессом логического вывода и генерации интерфейса пользователя.
2. Постановка задачи на разработку учебной экспертной системы. Студент формулирует задачу для экспертной системы в близкой ему предметной области. Определяются эксперт, с которым будет работать студент, и способ тестирования адекватности знаний системы. Предполагается, что на этом этапе студенты работают в группах по 2–3 человека. Один из студентов играет роль эксперта, другие – роль инженеров по знаниям. Возможно смена ролей для овладения всеми студентами навыков инженерии знаний.
3. Инженерия знаний и разработка учебной экспертной системы в заданной предметной области. Используя возможности системы EXSYS CORVID, студенты последовательно проходят этапы прототипирования экспертной системы. Это – основной объем работы, и ему следует отвести большую часть часов, выделенных для практических занятий. Работая в группах, студенты разрабатывают собственные экспертные системы. Результатом этого этапа должна быть работоспособная и непротиворечивая база знаний в объеме 50–100 правил. Тестирование системы осуществляется посредством выбранных на предыдущем этапе критериев.

Использование EXSYS CORVID в качестве основного инструментария в учебных лабораториях позволяет значительно ускорить изучение основных аспектов технологии экспертных систем за счет развитых средств разработчика, реализованных в данной системе.

### Заключение

Необходимость использования современных инструментальных средств в учебном процессе очевидна: от полученных студентом практических навыков зависит успех его дальнейшей профессиональной деятельности. В случае с дисциплиной «Экспертные системы» в большинстве ВУЗов имеется явный пробел – обеспечение дисциплины фактически соответствует уровню 70-х годов, а ее содержание сводится к изучению теоретических основ. В то же время описанная в статье система не только является передовой, но и позволяет совместить изучение основ технологии экспертных систем с современными средствами сетевой разработки приложений, интеграции средств анализа данных в Web-приложения и т.п. Таким образом, формируется четкая практическая направленность данной дисциплины на базе новейших технологий, что восполняет указанный выше пробел.

### Источники и литература

1. Официальный сайт разработчика системы EXSYS CORVID [www.exsys.com](http://www.exsys.com)
2. Building Knowledge Automation Expert Systems with Exsys CORVID. Elias M. Avard, University of Virginia 2003.

# ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭВС В ПРИЛОЖЕНИИ COSMOSWORKS

Н.С. Кармановский, Д.А. Боголюбов

В статье рассматривается комплекс программ инженерного анализа COSMOSWorks, разработанный корпорацией Structural Research & Analysis Corp., на примере реализации расчета тепловых режимов детали либо сборки.

## Введение

В настоящее время большое количество разнообразных публикаций посвящено CAD/CAE системам, в том числе SolidWorks и встроенной в нее программе расчета COSMOSWorks, разработанными компанией Structural Research and Analysis Corporation, CA, USA, позволяющей, в частности, анализировать тепловые режимы разрабатываемых блоков. Процесс интерпретации получаемых результатов описывается только в литературе, посвященной САПР SolidWorks [1, 2], причем общих принципов расшифровки результатов расчетов не приводится ни в одном издании. Единственным источником информации по этому вопросу могут служить форумы инженеров в Интернете, где созданы условия для обмена опытом. В настоящей статье предлагается рассмотреть общие принципы интерпретации результатов тепловых расчетов в приложении COSMOSWorks 2005, полученных на конкретных исследованиях.

SolidWorks по своему назначению – это CAD система, предоставляющая полный цикл моделирования: проектирование трехмерных сборок из отдельных деталей, сборочных чертежей и детализовок, а также наглядное представление трехмерных деталей.

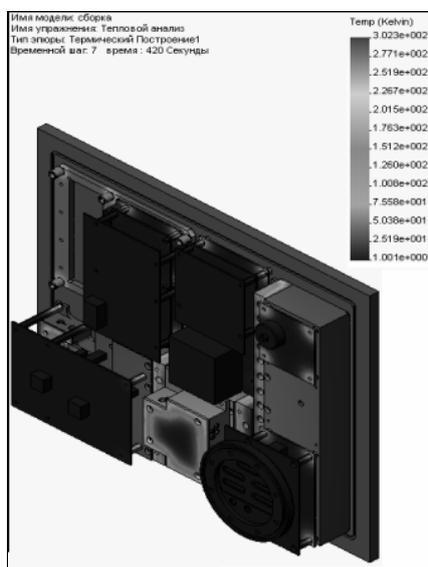


Рис. 1. Результат теплового расчета

Для установки SolidWorks 2005 предъявляются следующие системные требования: операционная систем –: Microsoft Windows XP SP1, Windows 2000 SP2, Windows NT 4.0 SP6, Windows Me, Windows 98 SE; процессор – Intel Pentium® или AMD Athlon; оперативная память –512 Мб и более; проверенная комбинация драйвера с графическим адаптером; наличие мыши; наличие дисковод для компакт-дисков; установленные программы: Microsoft Office XP или аналогичная для использования таблиц проектов и спецификаций материалов; браузер Internet Explorer 5.5 и выше.

В данной статье рассмотрена трехмерная модель блока RFS-514, представляющая собой сборку из 52 элементов. В реальности это несколько блоков и микросхем, закрепленных на термостатируемой плите (температура 25° С).

Расчеты модели проводились при следующих начальных условиях:

- начальная температура основания 25° С;
- тепловая мощность блока электронных узлов – 3 Вт;
- материал основания и конструктивных элементов – сплав Д16;
- материал печатных плат – стеклотекстолит СФ-2.
- габариты блока 287×362×260 мм (с учетом защитного кожуха).

Суть расчета состояла в том, чтобы при заданной мощности блока (блок расположен с одной стороны термостатируемой плиты) рассчитать стационарный тепловой режим.

На рис.1 представлен анализ результатов расчета модели блока RFS-514, сделанного в COSMOSWorks.

Программа предоставляет возможность рассчитать как стационарный тепловой режим, так и переходные процессы. COSMOSWorks позволяет не только выполнить расчет, но и визуально представить его результаты. На рис. 1 показаны различные температурные зоны перегрева в соответствии с приведенной на рисунке шкалой.

Максимальный нагрев зарегистрирован на поверхности блока электронных узлов и составляет 29° С. Видно, что при такой температуре блок работает в нормальном тепловом режиме, и перегревы не превышают допустимых.

В ходе макетных испытаний получено, что перегрев блока электронных узлов не превысил 0,5 К по сравнению с величинами, полученными расчетным путем с использованием программы COSMOSWorks, что свидетельствует о высокой точности результатов, предоставляемых программой.

Большое влияние на результаты оказывают исходные данные. Существует две категории ошибок, допускаемых при задании начальных и граничных условий: ошибки с физической точки зрения и неучтенные особенности метода конечных элементов. Ниже приведены рекомендации по устранению каждого из типов ошибок.

#### 1. Рекомендации с точки зрения теплофизики:

1.1. необходимо задать в качестве начальных условий начальную температуру, в особенности базового крепежного элемента, через который осуществляется кондуктивный теплообмен;

1.2. так как анализ тепловых режимов в COSMOSWorks 2005 позволяет учитывать все виды теплообмена (конвективный, кондуктивный и излучение), необходимо определить наиболее значимые составляющие и в качестве исходных данных задавать только их с целью экономии затрат мощностей компьютера;

1.3. необходим тщательный учет теплоотводов, крайне важно учесть термостатируемые элементы;

1.4. с большой осторожностью следует подходить к заданию тепловых контактов, так как расчет контактных тепловых сопротивлений не всегда происходит корректно и требует существенных затрат памяти.

#### 2. Рекомендации с точки зрения метода конечных элементов и особенностей программы

2.1. Необходимо учитывать, что при измельчении конечно-элементной сетки значения некоторых параметров могут быть теоретически бесконечными вследствие особенностей внутренних алгоритмов программы COSMOSWorks. В расчете тепловых режимов это относится, прежде всего, к параметру «Тепловая мощность».

2.2. Важно помнить, что конечно-элементная модель задачи теплопроводности предполагает, что в каждом узле присутствует только одна степень свободы – температура.

2.3. Необходимо понимать, что чрезмерное уточнение исходных данных приводит к увеличению размерности задачи, вследствие чего программе может не хватить памяти, и расчет будет прекращен.

Результаты всех расчетов, в том числе и теплового, представляются в виде распределения значений соответствующих параметров по поверхности детали (сборки). Результаты теплового расчета отображаются следующим образом: каждая точка окрашивается в определенный цвет, соответствующий температуре, которую приобретает данная точка после приложения тепловых нагрузок. Представление деформаций в результате нагрева программой не предусмотрено.

COSMOSWorks предоставляет пользователю информацию о результатах теплового расчета в виде цветной диаграммы и легенды, содержащей численные значения для каждого цвета. Кроме того, для удобства пользователя программа может самостоятельно сформировать текстовый отчет в формате HTML. Есть возможность посмотреть температуру в каждой точке детали. Для этого исследуемая точка выделяется курсором. Координаты точки также выводятся на экран.

Результаты, предоставляемые COSMOSWorks, отличаются высокой точностью и наглядностью, однако существует несколько проблем, связанных с их интерпретацией.

- Точность графического анализа теплового режима в сильной степени зависит от выставленной в предварительных настройках цветовой шкалы перегревов.
- Если рассчитанное значение параметра какой-либо части сборки сильно отличается от остальных (или противоречит здравому смыслу), то, как правило, это означает, что не было задано (или задано неверно) начальное значение параметра или некорректно заданы свойства материала. COSMOSWorks 2005 отличается высокой достоверностью представляемых результатов расчета в том случае, если верно были заданы свойства использованных в детали (сборке) материалов, способы крепления и начальные тепловые нагрузки.

Наиболее распространенные ошибки при интерпретации результатов, полученных в ходе расчета тепловых режимов с помощью программы COSMOSWorks:

- пользователь не учел того, как и для каких элементов были введены исходные данные для расчета;
- большее внимание уделено цветовой диаграмме, а не числовым параметрам, полученным в результате расчета;
- недостаточное внимание было уделено допущениям и ограничениям, заложенным в самом алгоритме программы COSMOSWorks, изложенных в специальной литературе [1, 2].

Как видно, большинство ошибок при работе с результатами расчета тепловых режимов в программе COSMOSWorks грамотный пользователь может предупредить самостоятельно. При этом необходимо отметить, что достоверность предоставляемых COSMOSWorks результатов теплового расчета достаточно высока при соблюдении всех требований к исходным данным и граничным условиям. При этом надо помнить, что эти результаты могут восприниматься исключительно в качестве общей характеристики тепловых режимов детали.

COSMOSWorks показал себя как действенный инструмент расчета. Результаты, предоставляемые этой программой, могут быть с успехом применены в презентации какого-либо проекта, в качестве иллюстрации к каким-либо техническим данным, а также в учебных целях.

Учет необратимых пластических деформаций, структурных дефектов, теплового расширения, сложных условий контакта, накопления повреждений и т.д. требует использования специальных вычислительных пакетов, применимых лишь в конкретных задачах (после более точного физического моделирования проблемы).

## **Заключение**

В ходе проведенного исследования были рассмотрены основные принципы интерпретации результатов расчета тепловых режимов в приложении COSMOSWorks. Показаны типичные пользовательские ошибки, допускаемые при интерпретации, а также недочеты самого приложения COSMOSWorks. Результаты исследования позволяют сделать выводы о широких возможностях программы, о перспективах ее применения в различных сферах деятельности.

## **Литература**

1. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. М., 2004. 257 с.
2. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов А.А., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб, 2004. 306 с.

# ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАССОПЕРЕНОСА В СПЛОШНЫХ СРЕДАХ

З.Г. Симоненко

Работа посвящена вопросам параметрического анализа сложных информационно-измерительных систем измерения величин массопереноса в сплошных средах при информационной и системной интеграции процесса автоматизированного проектирования для различных задач моделирования.

## Введение

В настоящее время разработка и применение высокоточных быстродействующих комплексных методов и новых технических систем, ведущих к повышению информативности и обеспечивающих получение сведений о совокупности свойств экспериментального и модельного исследования, являются основной тенденцией развития приборостроения. Наиболее актуальными вопросами инженерной практики при проектировании технических систем остаются вопросы концептуально-теоретической необеспеченности этапов проектирования технических систем. Это связано с усложнением структуры, созданием комплексов средств измерений и с приобретением дополнительных свойств, выявляемых при использовании аппаратных и программных средств вычислительной техники.

Современные тенденции и возможности автоматизации проектирования технических систем находят выражение в интегративно-функциональных представлениях о системной организации [1]. Конкретное содержание процесса проектной разработки, обусловленное этими представлениями, включает в себя создание двух типов моделей – концептуальной и количественной, на каждой из которых осуществляется процедура параметрического анализа. Задачи нетрансляционного переноса масс в анизотропных средах решаются с помощью различных информационно-измерительных систем (ИИС), в которых реализуются присущие им специфические процедуры: получение и преобразование измерительной информации с заданной и гарантированной точностью, сопоставление сигналов измерительной информации с размерами общепринятых единиц измерения [2]. Но сложность и дороговизна таких систем требует перехода от проектирования большого числа новых моделей для различных целей исследования к возможности их отображения с помощью одной модели. Эта многоступенчатая задача последовательного нахождения оптимального решения выполняется путем синтеза типовых, унифицированных, готовых и апробированных деталей и блоков деталей, блоков и вариантов, стандартизации и конструкторско-технологической унификации сложной информационно-измерительной системы и включает в себя классификацию объектов по конструктивно-параметрическим признакам, выбор конструкции базового изделия по данному классу систем, установление единого конструктивно-параметрического решения для этих объектов.

Для реализации информационной и системной интеграции процесса автоматизированного проектирования в работе проведен параметрический анализ для этого класса ИИС с различным уровнем детализации и особенностями структурно-функциональной организации процесса измерения параметров массопереноса.

## Основная часть

В качестве анализируемой выберем разработанную концептуальную модель ИИС [3] для измерения параметров массопереноса (или диффузии) в жидкой бинарной среде с границей раздела, основанную на использовании оптических методов поляризационной интерферометрии и лазерной нуль-эллипсометрии [4].

Схема одноканального лазерного эллипсометрического диффузиометра представлена на рис. 1. Пучок света от источника излучения 1, поляризованный линейным поляризатором 2 – полуволновой пластиной ( $\lambda/2$ ), разделяется при помощи первой двулучепреломляющей пластины из исландского шпата 3, установленного с азимутом  $45^\circ$  к плоскости поляризации полуволновой пластины 2, на два пучка.

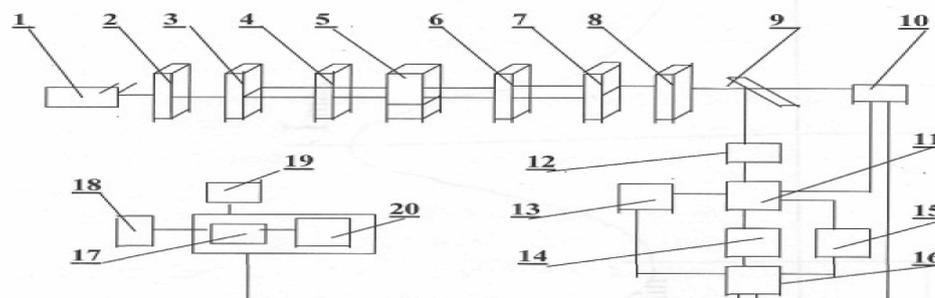


Рис.1. Схема лазерного одноканального поляризационного прибора для измерения параметров массопереноса

Оба пучка, разведенных на величину двоения шпатам 3, проходят через рабочую кювету 5 и фазосдвигающие четвертьволновые пластины 4 и 6. Эти пластинки находятся в схеме до и после рабочей кюветы 5 и установлены так, что они оптически сопряжены с двулучепреломляющей пластиной 3 и линейным поляризатором 2; вторая пластина 6 установлена на вычитание по отношению к первой пластине 4. Затем второй двулучепреломляющей пластиной 7 (аналогично пластине 3), оптически сопряженной с линейным поляризатором 2, два пучка опять сводятся в один и пропускаются через неподвижно установленный анализатор 8, что приводит к непрерывному выделению синусной составляющей интенсивности излучения (анализатор установлен с азимутом  $45^\circ$  к плоскости поляризации поляризатора 2).

Регистрация моментов времени  $\tau$  производится с момента установления резкой границы раздела исследуемых сред. Пучок, прошедший через анализатор 8, разделяется светоделительным элементом 9 на два пучка, один из которых попадает на фотоприемник 10. С него световой оптический сигнал, преобразованный в электрический, попадает в информационно-управляющий модуль 11, результаты с которого получены в виде численных данных или в графическом виде. Экспериментальная кривая скорости массопереноса дает адекватное представление о феноменологии процесса, протекающего в реальном масштабе времени [5].

Для устранения ряда систематических аппаратурных погрешностей была разработана вторая модель двухканального лазерного поляризационного прибора [6] с возможностью измерения мгновенных значений величин параметров массопереноса, представленная на рис. 2: Схема включает в себя: 1 – источник излучения, 2 и 3 – светоделительные элементы (зеркала), 4 – поляризатор (полуволновая пластина  $\lambda/2$ ), 5 и 9 – двулучепреломляющие пластины из исландского шпата, 6 и 8 – четвертьволновая пластина ( $\lambda/4$ ), 7 – рабочая кювета, 10 – механический прерыватель-синхронизатор, 11 и 12 – фотоприемники, 13 – информационно-измерительный модуль.

Работает устройство в оптической части так же, как и предыдущее, однако выделение интенсивностей здесь происходит при помощи четырех анализаторов, которые с диафрагмами установлены на диске механического прерывателя-синхронизатора 10, расположенного перед фотоприемником 11. При фиксированных азимутах поляризационных элементов 5, 6, 8, 9 диск механического прерывателя-синхронизатора 10 синхронно

вращается вокруг оси, параллельной оптической оси, с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . После диска 10 формируются четыре оптических световых сигнала, сдвинутых друг относительно друга по пространственной фазе на  $90^\circ$ . Эти четыре сигнала после диска 10 с механической модуляцией падают на рабочие поверхности фотоприемников 11 и 12, а выходные сигналы с них, преобразованные в электрические сигналы, соответственным образом попадают в информационно-измерительный модуль 13.

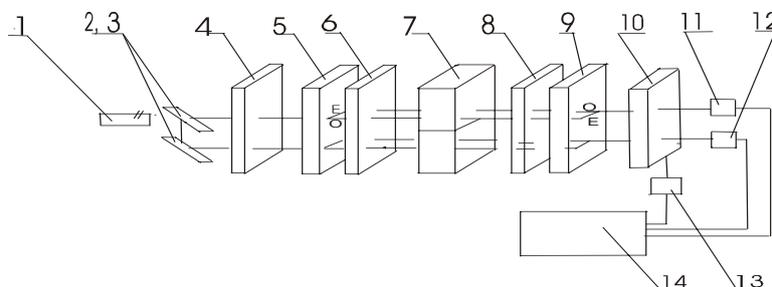


Рис. 2. Схема двухканального лазерного поляризационного прибора для измерения мгновенных значений величин массопереноса

Анализ параметров сравниваемых схем показывает, что в основе измерений лежит принципиальная схема с пластинками Гарди [7], с помощью которой реализован один из наиболее чувствительных методов получения эллиптически поляризованного излучения.

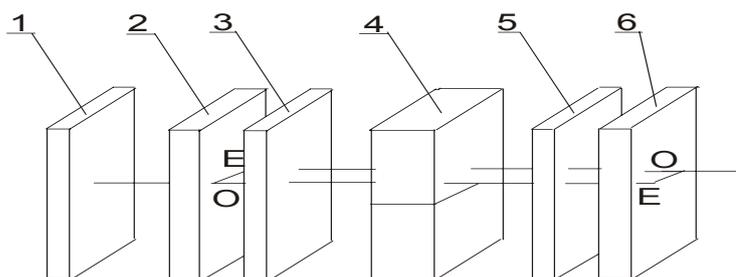


Рис. 3. Принципиальная схема измерительного блока ИИС

Пучок света в ней (рис. 3) преобразуется в линейно-поляризованный при помощи линейного поляризатора 1. Установленный за ним поляризационный элемент двоеения 2 делит линейно-поляризованный пучок на два плоско-поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Элемент 2 устанавливают так, чтобы интенсивности обоих пучков были равны. На пути обоих пучков за элементом 2 устанавливают кювету 4 с исследуемыми жидкостями. Оба пучка, разделенные элементом 2 на величину двоеения поляризационного элемента 2, распространяются параллельно границе раздела двух исследуемых сред, которые по мере прохождения пучков через диффундирующий слой приобретают на пути  $h$  разность фаз  $\delta$ . Сведение элементов производится с помощью элемента двоеения 6, который оптически сопряжен с элементом двоеения 2. В анализируемой схеме имеется две четвертьволновые пластинки 3 и 5 ( $\lambda/4$ ), установленные до и после кюветы 4. В отсутствие в схеме пластинок ( $\lambda/4$ ) и полностью нарушается рассматриваемая принципиальная схема.

Анализ представленных схем позволяет сделать следующие выводы.

1. Имеется модель ИИС с экспериментально измеренными параметрами массопереноса бинарной жидкой среды с границей раздела, которая для достоверности параметров последующих проектируемых моделей выбирается в качестве базовой, с экспе-

риментально апробированными начальными и граничными условиями задачи массопереноса сплошной среды.

2. Одноканальная схема позволяет непрерывно исследовать параметры массопереноса в реальном масштабе времени, двухканальная схема позволяет получать мгновенные значения параметров массопереноса.

3. В качестве типового измерительного блока выбрана принципиальная схема с пластинами Тарди или блок Тарди с диффузионной кюветой подслаивания.

Широко применяемый и успешно используемый в данной работе метод модульного проектирования позволяет представить с помощью параметрического анализа описанных приборов-аналогов проектируемые модифицированные части новой модели ИИС.

В качестве модуля А выбран модуль, содержащий светоделительные элементы 1 и 2 (см. рис. 2) с блоком Тарди и диффузионную кювету подслаивания, предназначенный для работы с двумя каналами – рабочим и опорным.

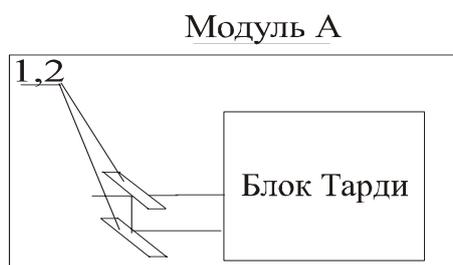


Рис. 4. Модуль А функциональной схемы ИИС

Модуль В, представленный на рис. 5, содержит искомый модуль А, который введен в разрабатываемую схему со светоделительными элементами 1 и 2, а также поляризационными элементами 3, 4 и 6 (см. рис. 3).

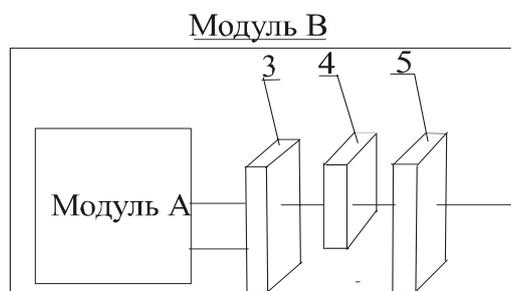


Рис. 5. Модуль В функциональной схемы ИИС

Модуль С, представленный на рис. 6, включает в себя модуль А и модуль В.

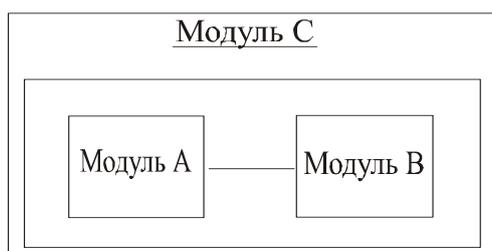


Рис. 6. Модуль С функциональной схемы ИИС.

Модуль D содержит для всех рассмотренных вариантов ИИС фотоприемник ФП, блок таймера Т и блок управления БУ (рис. 7).

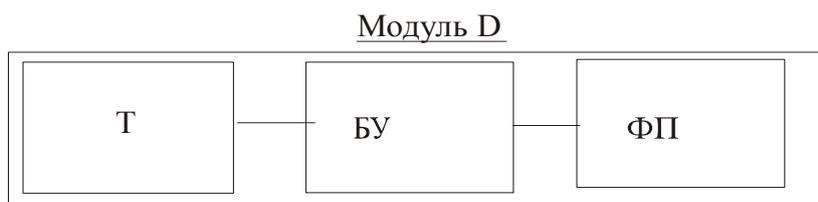


Рис. 7. Модуль D функциональной схемы ИИС

Модуль E представляет собой информационно-управляющий модуль и содержит вычислительное устройство ВУ, аналого-цифровой преобразователь АЦП, оперативный блок запоминания вычислительного устройства БЗ ВУ, блок цифрочитающего устройства ЦПУ, графопостроитель ГП (рис. 8).

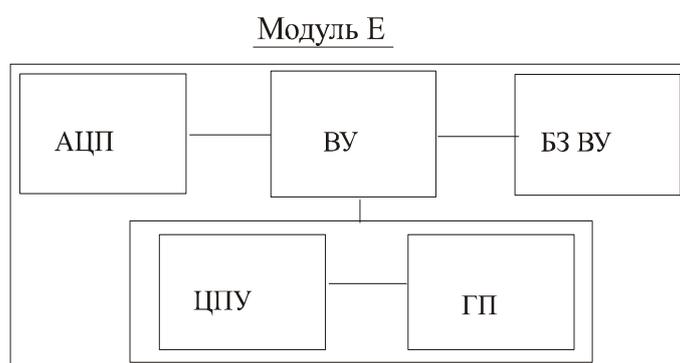


Рис. 8. Модуль E функциональной схемы ИИС

Разработанная с учетом интегративно-конструктивных представлений обобщенная функциональная схема ИИС неразрушающего контроля жидкой бинарной среды с границей раздела, после первого этапа анализа приборов-аналогов, представлена в наиболее общем виде на рис. 4 и включает в себя источник излучения – лазер, конструктивно-измерительный модуль и информационно-управляющий модуль.

Таким образом, обобщенная функциональная модель ИИС включает в себя модули А, В, С, D и E (рис. 9).

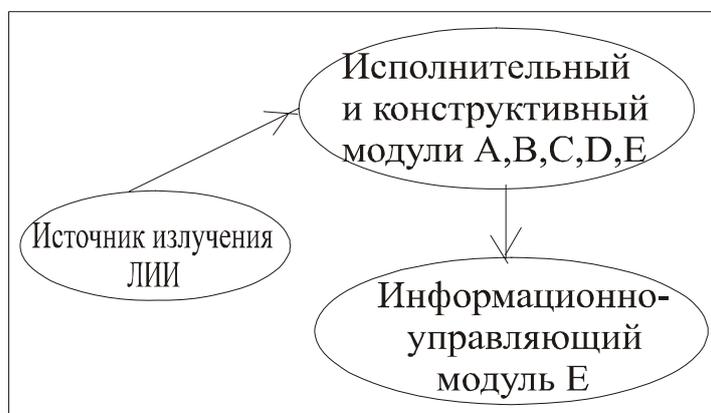


Рис. 9. Функциональная схема ИИС

Модель информационно- измерительной системы представлена на рис. 10.

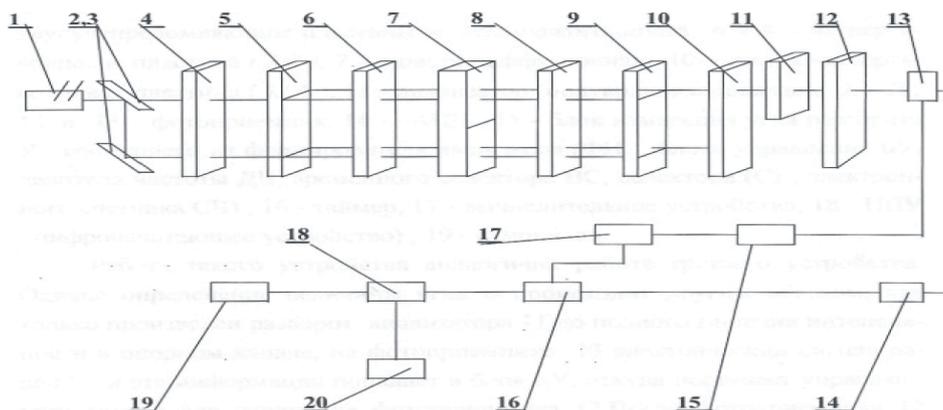


Рис.10. Разработанный вариант схемы ИИС

Созданная с помощью модульного проектирования третья схема ИИС позволяет измерять величину разности фаз от разности углов поворота плоскостей поляризации в рабочем и опорном каналах. При этом за счет произведенного поворота с помощью поляризационного элемента 12 производится исключение дополнительной разности фаз, вносящей погрешность в измерение. Описание предложенного метода и созданной схемы приведено в работе [14].

Рассмотрение количественной модели для этой ИИС в работе [8] содержит физико-математическую модель, представляющую собой совокупность уравнений, формул, констант, логических условий, определяющих взаимосвязь параметров изучаемого процесса массопереноса. Трансцендентное уравнение используется для оценки корректности полученных экспериментальных данных и выполнение условия задачи в окрестностях значений переменных. Написана программа в среде разработки Microsoft Visual Studio.NET 2003 на языке программирования С++ с использованием сторонних компонент по объемному отображению графиков. Общая точность аппроксимированной функции составляет  $3 \times 10^{-7}$  при 100 итерациях с использованием чисел с плавающей запятой двойной точности. Создана программа, которая на основе 6 заданных параметров способна наглядно отображать график и интерактивно изменять параметры интерполяции переменных для немедленного варьирования и отображения результата.

Математическое описание и программа расчета для модулей А, В и С сложных поляризационных фильтров приведены в работе [9], линейного фазосдвигающего устройства – в работе [10], линейной двулучепреломляющей пластинки – в работе [11], линейной дихроичной пластинки – в работе [12], оценка поляризационных параметров преломляющей и отражающей среды – в работе [13]. В результате количественного моделирования концептуальные представления о ресурсах управления системой разворачиваются во взаимосвязанную совокупность приборов и конструкций, представляющих устройство сложной технической системы.

### Заключение

В результате проведенного параметрического анализа решены вопросы интеграции проектирования концептуальной модели рассматриваемой ИИС, создана обобщенная функциональная модель информационно-измерительной системы для измерения и контроля величин массопереноса в жидкой бинарной среде с границей раздела.

Концептуальная модель ИИС позволяет разработать количественную модель, куда входят перечисленные математические описания и программы расчета для анализа параметров рассматриваемых блоков или элементов ИИС, а также для анализа процесса измерения процесса нетрансляционного переноса.

С помощью параметрического анализа в работе представлен разработанный вариант модели ИИС для контроля параметров массопереноса, сформулированы интегративно-функциональные представления для автоматизации проектирования искомой унифицированной ИИС со значительным удешевлением ее реализации, столь необходимые для решения задач мониторинга параметров массопереноса сплошных сред.

### Литература

1. Бахур А.Б. Системные идеи в современной инженерной практике (интегративно-функциональный подход). М.: Пров-пресс, 2000.
2. Норенков И.П.. Автоматизированное проектирование. М. Высшая школа, 2000.
3. Симоненко З.Г., Шмуйлович Г.А., Равдель А.А., Порай-Кошиц А.Б. Способ определения коэффициента молекулярной диффузии в жидкостях и устройство для его реализации. / Авторское свидетельство СССР № 976307. Бюллетень ОИ ПОТЗ, 1985.
4. Симоненко З.Г., Исследование параметров скорости массопереноса в жидких бинарных системах с границей раздела. / Материалы IV Международной научной конференции «Проблемы пространства, времени и движения». СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2000. С. 22.
5. Симоненко З.Г. Плотников В.В., Ильина Л.П., Федоров В.Н., Мануйлов К.В. Теорема Остроградского и решение параболических уравнений. / Научная конференция «Петербургская математическая школа в период XIX века». СПб, 24–28 сентября 2001.
6. Симоненко З.Г., Порай-Кошиц А.Б., Москалев В.А. Способ определения коэффициента молекулярной диффузии в жидкостях и устройство для его реализации. / Авторское свидетельство СССР № 1349452. Бюллетень ОИ ПОТЗ, 1987. № 45. С. 218.
7. Аззам Р, Башара Н.М, Эллипсометрия и поляризованный свет М.: Мир, 1981.
8. Симоненко З.Г., Уваров Д.Л. Программа расчета параметров массопереноса в жидкой бинарной среде с границей раздела. / Материалы межвузовской научно-технической конференции. 24-29 ноября 2005 г. СПб: Издательство СПбГТУ, 2004. С.61.
9. Симоненко З.Г., Лобанов В.А. Расчет интерференционно-поляризационного светофильтра. / В сб. «Диагностика и функциональный контроль качества оптических материалов». СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. С. 192–198.
10. Симоненко З.Г., Бандура А.С. Расчет линейного фазосдвигающего устройства. / В сб. «Диагностика и функциональный контроль качества оптических материалов». СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. С. 199–204.
11. Симоненко З.Г., Скобелин А.А. Расчет линейной двулучепреломляющей пластинки. / В сб. «Диагностика и функциональный контроль качества оптических материалов». СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. С. 205–211.
12. Симоненко З.Г., Антипин Д.А. Расчет линейной дихроичной пластинки. / В сб. «Диагностика и функциональный контроль качества оптических материалов». СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. С. 219–229.
13. Симоненко З.Г., Ваняев В.Н.. Расчет оптических параметров отражающей среды методами эллипсометрии. / В сб. «Диагностика и функциональный контроль качества оптических материалов». СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. С. 212–218.
14. Симоненко З.Г., Ткалич В.Л. Разработка информационно-измерительной системы неразрушающего контроля параметров массопереноса в жидкой бинарной среде с границей раздела. / Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. 120 с.

# **ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МИКРО- И НАНОЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ЭЛЕКТРОНИКИ**

**В.Л. Ткалич, Ю.А. Гатчин, А.Г. Коробейников, Б.П. Папченко, А.М. Скворцов**

В работе рассмотрены вопросы, возникающие в ходе технологического контроля при производстве микро- и наноструктур элементной базы электроники. Проведен анализ серийного образца МИИ-4. Разработаны принципы, на основе которых можно улучшить технические характеристики МИИ-4. Рассмотрен разработанный на базе этих принципов измерительно-вычислительный комплекс. Приведены примеры его использования.

## **Введение**

В развитии современной техники наблюдается тенденция использования функциональных объектов малых размеров. Примером может служить электронная техника, в которой микроминиатюризация приборов уже сейчас требует применения элементов, размеры которых составляют несколько микрон. Современная микроэлектроника – одно из самых динамично развивающихся междисциплинарных научно-технических направлений. Это обстоятельство во многом определяет современный уровень фундаментальных исследований и образовательного процесса в области производства микро- и наноструктур элементной базы электроники. Уникальность свойств таких объектов (микро- и наноструктур) во многом определяется атомными и электронными процессами, протекающими как в объеме, так и на их границах и имеющими уже квантовый характер. Задача осложняется еще и тем, что микро- и наноструктуры являются достаточно неравновесными системами. Поэтому дальнейшее развитие электроники ставит задачу разработки таких методов исследования, с помощью которых можно получать информацию о чистоте поверхности и обнаруживать структурные неоднородности на границе раздела фаз подложка – пленка и пленка – окружающая среда.

Отсюда следует, что задача разработки неразрушающих бесконтактных методов для исследования стереометрии и внутренних структурных дефектов в микро- и наноструктурах элементной базы электроники является актуальной, что полностью соответствует позиции «Информационно-телекоммуникационные технологии и электроника» перечня «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации», а также позиции «Микросистемная техника» из «Перечня критических технологий Российской Федерации».

## **Анализ бесконтактных методов контроля при производстве микро- и наноструктур для электроники**

В настоящее время развитие интегральной микроэлектроники вышло на такой уровень, когда наиболее продвинутые в инновациях фирмы ведут исследования, направленные на разработку технологии, которая обеспечивала бы масштабирование быстроедействующих 90-нанометровых КМОП СБИС. Так, например, фирмой Intel Corporation в процессе усовершенствования технологии микропроцессора Pentium 4, серийно изготавливаемого по 130 нм-технологии [1], была подготовлена база для перехода к 90-нанометровому техпроцессу (масштабированию). В результате фирмой в 2004 году начата обкатка этого техпроцесса путем производства чипов SRAM емкостью 6,5 Мбайта. Ниже приводятся наиболее важные отличия 90-нанометрового техпроцесса от 130-нанометрового:

- 7 медных слоев коммутации вместо 6 слоев;

- применение для подслоя коммутации силицида никеля вместо силицида кобальта;
- толщина слоя подзатворного оксида кремния 1,5 нм вместо 2,3 нм;
- использование подложек для изготовления СБИС диаметром 300 мм вместо 250 мм;
- площадь ячейки памяти SRAM 1,15 кв. мкм вместо двух кв. мкм;
- 193-нанометровая литография вместо 248-нанометровой;
- применение в качестве материала канала транзисторов «растянутого кремния» вместо обычного монокристаллического.

Сообщается также [1], что фирма Intel ведет интенсивные работы по переходу к 60-нм технологическому процессу создания СБИС с толщиной подзатворного диэлектрика транзисторов 1,2 нм. Имеются сообщения о том, что мировые лидеры по производству СБИС - компании Intel и АМД – собираются использовать для производства новейших процессоров структуру «кремний на диэлектрике» (КНД -SOI): компания Intel – на 60-нм техпроцессе в процессоре Prescott с более чем 100 миллионов транзисторов в одном чипе, а компания АМД – в процессоре Hammer.

Как видно из приведенного материала, по некоторым параметрам миниатюризация СБИС процессоров достигла значений, которые являются предельными с точки зрения физических ограничений процессов, происходящих с структурах СБИС. В то же время наличие многослойной коммутации и большого числа слоев межслойной изоляции обуславливают сложный рельеф поверхности кристалла, в котором формируется СБИС. Этот рельеф непрерывно изменяется с переходом от одного техпроцесса к другому, и требуется производить контроль высоты и площади рельефа.

Для обеспечения аналитического контроля СБИС с такой степенью интеграции разработаны десятки высокоточных методов и соответствующей аппаратуры, предназначенные для формирования изображений, элементного анализа, идентификации химических соединений, построения профилей распределения элементов и др. В число методов формирования изображений входят следующие основные методы:

- автоэлектронная микроскопия;
- инфракрасная фурье-спектроскопия;
- лазерная микроскопия;
- оптическая микроскопия;
- растрово-акустическая микроскопия;
- растровая электронно-акустическая микроскопия;
- растровая электронная микроскопия;
- растровая туннельная микроскопия;
- просвечивающая электронная микроскопия.

Однако большинство из этих методов не могут быть использованы в производственных условиях по нескольким причинам. Во-первых, производственные технологии требуют экспрессных методов контроля, которые оперативно обеспечивают обратную связь результатов измерений с технологическим процессом изготовления изделия, чего не обеспечивает большая часть этих методов. Во-вторых, оборудование для перечисленных исследований – сложное и дорогостоящее. Наконец, в-третьих, эксплуатация такого оборудования требует высокой квалификации обслуживающего и работающего на нем персонала. Такого персонала в производственных цехах нет.

Многие производственные технологии, в частности, производство изделий полупроводниковой микроэлектроники, предусматривают контроль качества поверхности заготовок (в микроэлектронике – подложек для микросхем, например, кремниевых монокристаллических пластин). Во время контроля определяют шероховатость поверхности, глубину и конфигурацию профилей, сформированных на поверхности подложек.

Особое место в конструировании изделий микро- и наноэлектроники занимает микроструктурирование поверхности монокристаллического кремния, которое широко применяется для создания пространственных поверхностных и объемных структур в монокристаллах кремния. Так, в полупроводниковых микросхемах с помощью V-образных канавок формируется изоляция элементов типа VATE и «Полипланар». В КМОП СБИС в форме V-образных канавок делаются затворы МОП-транзисторов. Изоляцию элементов в СБИС осуществляют также с помощью глубоких канавок в монокристаллических кремниевых подложках и с помощью разделительных канавок в БИС на КНС-структурах.

Микроструктурирование используют также для создания различных полупроводниковых датчиков и преобразователей.

В последние годы микроструктурирование находит применение в фотонике, например, для создания фотонных кристаллов.

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что в скором времени микро- и наноструктурирование поверхности монокристаллов кремния будет использоваться при получении новых композитных материалов для изделий микро- и наноэлектроники.

Во всех перечисленных случаях контроль параметров микроструктурированной поверхности подложки является неременным условием, обеспечивающим качество изготавливаемых изделий. Ниже рассматриваются некоторые наиболее часто употребляемые методы контроля, в которых используется формирование изображения. Как утверждается в [2], методы формирования изображения относятся к наиболее ценным, как минимум, по двум причинам. Во-первых, изображение «выглядит» так, как оно представляется аналитику, и тогда приводится в действие весь ранее накопленный опыт визуальных наблюдений, и изображение предоставляет максимум информации за минимальный промежуток времени. Во-вторых, открывается возможность применения мощных средств обработки изображений с применением вычислительной техники, повышающих информативность и уровень количественной интерпретации.

Исходя из производственных требований, для формирования изображений поверхности наиболее приемлемым методом является оптическая микроскопия, и, в частности, микроинтерферометрия. Для бесконтактного неразрушающего контроля поверхности может быть с успехом использован микроинтерферометр МИИ-4, созданный по схеме академика В.П. Линника и представляющий собой развитие схемы интерферометра Майкельсона для случая системы сильного увеличения. С помощью МИИ-4 может быть отфиксирована высота неровности профиля 0,03 мкм и минимальное расстояние между двумя соседними неровностями 0,2 мкм при 500-кратном увеличении. Однако для применения этого интерферометра непосредственно в микроэлектронном производстве требуется его модификация, направленная на повышение производительности измерения, которая ограничена применением окуляра, сложностью и трудоемкостью фиксации изображения путем фотографирования.

### **Разработка измерительно-вычислительного комплекса для анализа микро- и наноструктур элементной базы электроники**

Используемый в настоящее время для бесконтактного определения шероховатости поверхности микроинтерферометр МИИ-4М имеет недостатки как в осветительном, так и в измерительном каналах. Коротко их рассмотрим.

1. Источником света в МИИ-4М является лампа накаливания. При ее работе подающее количество потребляемой энергии выделяется не в виде световой энергии видимого диапазона, а в виде тепловой энергии. Вследствие этого лампа накаливания нагревает часть оптических деталей и корпуса прибора, контактирующего с узлом осветителя, создавая нестационарный градиент температуры в ветвях интерферометра.

Это приводит к дополнительной разности хода лучей, а, значит, и к появлению случайной ошибки измерений.

2. Лампа накаливания по своей конструкции и технологии изготовления не имеет постоянного положения нити накаливания относительно посадочного места лампы. В процессе работы лампы из-за разогрева спирали меняется ее жесткость, происходит смещение нити накала под действием силы тяжести.

3. Оператор должен выполнить измерения профиля кривой, находящейся в поле зрения. При этом измерения проводятся в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Оператор оценивает на глаз расстояния и толщины, составляющие около 0,1 ширины изображения. Это требует от оператора значительного напряжения органов зрения. Для одного измерения требуется снять более 10 отсчетов, что занимает несколько минут напряженной зрительной работы.

3. Поскольку каждый снятый отсчет оператор должен записать, у него постоянно меняется режим аккомодации глаза, меняется характер освещения. Все это приводит к сильному утомлению органов зрения и как следствие – снижению точности и скорости измерений.

Первые два указанных недостатка требуют наличия узла подвижки лампы и проведения операции настройки освещения как перед работой, так и периодически в процессе работы. Качество настройки освещения существенно влияет на качество изображения и, соответственно, на точность измерений.

Третий и четвертый недостаток сказываются на эффективности работы оператора.

Таким образом, указанные недостатки делают актуальной задачу модификации МИИ-4М.

Цель модернизации прибора заключается в повышении информативности и точности измерений шероховатости поверхности, ускорении процесса измерений и снижении утомляемости оператора с помощью измерительно-вычислительного комплекса (ИВК).

Для начала был подвергнут модернизации узел осветителя, в котором применен принципиально новый тип источника света. Затем был разработан блок, в который входит цифровая телевизионная камера и канал связи с персональным компьютером (ПК). Кроме этого, было разработано специализированное программное обеспечение (ПО).

### **Модернизация узла осветителя МИИ-4**

Работа по модернизации узла осветителя основывалась на появлении нового поколения светоизлучающих диодов. В начале 2000 г. появились промышленно выпускаемые светодиоды, существенно отличающиеся от предшествующих (индикаторных светодиодов и светодиодов ИК диапазона) по своим эксплуатационным параметрам – мощности, сроку службы, спектральному составу излучения. Это поколение светодиодов по ряду параметров превзошло лампы накаливания, что создало предпосылки модернизации осветительных систем приборов путем замены ламп накаливания светоизлучающими диодами (СД).

Работа основывалась на использовании отечественных светодиодов, так как формирование необходимой оптической характеристики светодиода (форма колпака) практически можно реализовать только при непосредственном взаимодействии с изготовителем изделия («ОПТЭЛ», г. Москва).

В работе решалась задача абберрационного расчета осветительного канала на базе светодиода У337 с эллиптическим колпаком.

При использовании светодиода У337 с эллиптическим колпаком в осветительном канале МИИ-4М возможны два варианта решения поставленной задачи. В первом варианте (рис. 1 а) светодиод используется со сложным коллектором и конденсорной

линзой. Таким образом, мы полностью используем осветительный канал МИИ-4М, который рассчитан для работы с лампой накаливания. Во втором варианте рассмотрен случай использования только конденсорной линзы (рис. 1 б). Такое рассмотрение имеет смысл, так как светодиод с эллиптическим колпаком уже представляет собой осветитель с коллектором, и можно ожидать, что изъятие линз конденсора не приведет к ухудшению характеристик освещения при упрощении конструкции.

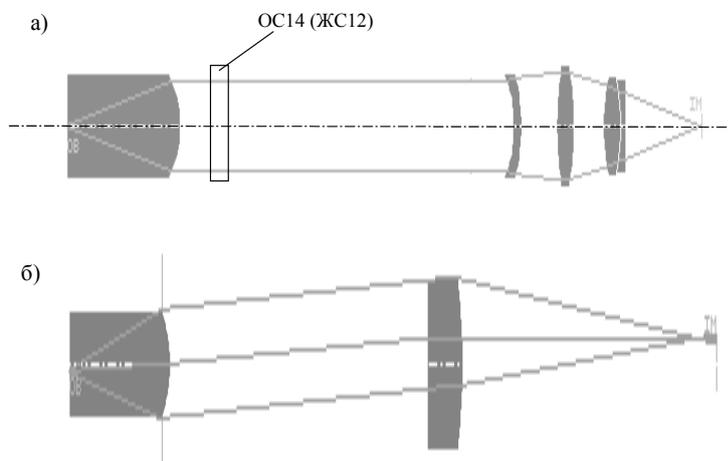


Рис. 1. Светодиод с эллиптическим колпаком

В табл. 1 приведены результаты расчета оптических схем (а) и (б). Анализ этих результатов показывает, что схема (б) имеет лучшие характеристики по светораспределению при одновременном упрощении конструкции. Поэтому было принято решение разрабатывать конструкцию по схеме (б).

№ Радиусы Осевые расст. Высоты Марки Кат Показатели преломления

-----						
Россия L0=0.5893 L1= L						
0					1.550000	
1	0.0	19.5900	0.68		1.550000	
2	<b>-6.9500</b>	50.0000	8.72	ВОЗДУХ	1.000000	$e^2=0,4162$ - эллипс
3	0.0	7.2400	4.86	ВОЗДУХ	1.000000	
4	-8.3950	1.5000	4.89	ТФ5	1.754997	
5	-10.5200	6.0000	5.34	ВОЗДУХ	1.000000	
6	24.3200	3.0000	6.55	ЛК3	1.487397	
7	-19.4480	5.0000	6.61	ВОЗДУХ	1.000000	
8	13.1830	3.0000	6.10	ЛК3	1.487397	
9	-13.1830	1.0000	6.10	ТФ5	1.754997	
10	-1127.2000	13.0501	5.89	ВОЗДУХ	1.000000	

Параксиальные характеристики

-----						
F	F'	sF	sF'	sH	sH'	L
9.0431	-5.8343	-6.6198	21.0201	-15.6630	26.8544	109.38
s	s'	s'G	V	sP	sP'	sP'
(мм)	(мм)	(мм)		(дптр)	(дптр)	(дптр)

Таблица 1. Результаты расчета оптических схем (а) и (б)

При расчете определяем зависимости между фокусным расстоянием колпака, показателем преломления материала и радиусов при вершине. В результате расчета получены данные для изготовления эллиптического колпака для светодиода У337 (рис. 2). Эти данные представлены в табличном виде (табл. 2), что удобно для изготовления формы отливки колпака, которая выполняется на станке с ЧПУ.

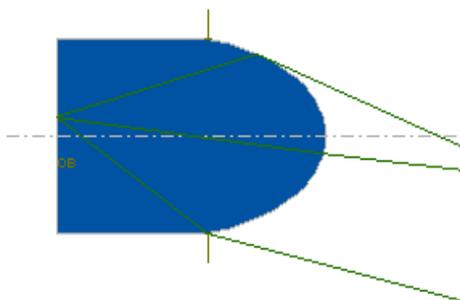


Рис. 2. Вид рассчитанного колпака

Эллиптический колпак ( $e$ -эксцентриситет)

$e^2 = 1/n$ , где  $n$  – показатель преломления материала

$R_0$ -радиус при вершине

$R_0 = b^2/a$ , где  $a, b$  – полуоси эллипса

-----Конструктивные параметры колпака-----

N	Радиусы	Осевые. расстояния	Высоты	Показатели преломления
	L0=0.5893			
0				1.583000
1	0.0	24.4400	2.25	1.583000
2	-9.0000	ВОЗДУХ	1.000000	$e^2=0.399$ - эллипс

Параксиальные характеристики –

F	F'
-24.4374	24.4374

ПРОВЕРКА:

$$R_0 = f^2(n-1)/n = 24.4374(1.583-1)/1.5183 = \underline{9}$$

Таблица 2. Данные для изготовления эллиптического колпака для светодиода У337

Оптическая схема осветителя, по существу, является упрощенной оптической схемой осветителя МИИ-4М, из которой исключены две линзы коллектора. Их функцию выполняет эллиптический колпак светодиода. Таким образом, практически для замены источника света надо вывинтить ненужные линзы и установить светодиод.

Светодиод с эллиптическим колпаком крепится теплопроводящей пастой к несущей детали, представляющей собой полый стержень. Внутри этого стержня проходят провода питания светодиода. Сам стержень имеет значительную массу и выполнен из материала, имеющего высокую теплопроводность. Это позволяет обеспечить температуру корпуса кристалла не более чем на 2–3° выше температуры окружающей среды.

Операция модернизации не требует специального инструмента и навыков и может быть выполнена обслуживающим персоналом МИИ-4М.

Для устранения третьего и четвертого недостатков МИИ-4М была установлена цифровая телевизионная камера, передающая информацию через блок измерения на ПК (рис. 3).

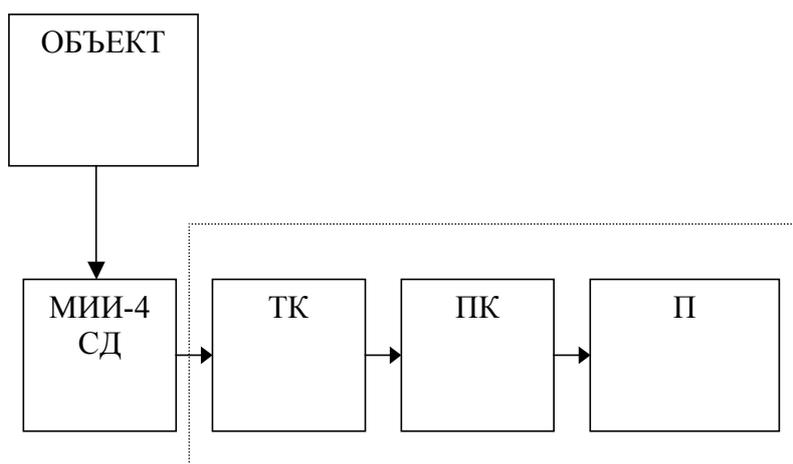


Рис. 3. Блок-схема ИВК

Разрешающая способность цифровой камеры не должна быть меньше разрешающей способности при измерении с помощью микрометра  $d_M$ . Ее можно определить из соотношения:

$$d_M = D/\Delta,$$

где  $D$  – диаметр поля зрения в плоскости изображения,  $d_M$ ,  $\Delta$  – цена деления микрометра. При  $D = 10$  мм и  $\Delta = 0,01$  мм  $d_M = 1000$ . Поэтому разрешающая способность цифровой камеры должна быть не менее 1000 пикселей на 1 см.

Линейное увеличение дополнительного канала  $\beta_{дк1}$  должно обеспечивать использование разрешающей способности объектива и цифровой камеры, оно определяется формулой:

$$\beta_{дк1} = 2\ell A / (n\lambda\beta_0),$$

где  $\ell$  – длина наименьшей стороны приемника,  $A$  – числовая апертура объектива,  $n$  – число пикселей,  $\lambda$  – длина волны,  $\beta_0$  – линейное увеличение объектива.

Линейное увеличение дополнительного канала  $\beta_{дк1}$  должно также обеспечивать использование поля зрения оптического прибора. Для описанной окружности

$$\beta_{дк2} = D_{цк} / (D\beta_0),$$

где  $D_{цк}$  – диаметр приемника цифровой камеры, а для вписанной окружности

$$\beta_{дк3} = \ell / (D_M \beta_0),$$

где  $D_M$  – линейное поле зрения оптического прибора в пространстве предметов.

Благодаря наличию цифровой телевизионной камеры с разрешающей способностью не менее  $10^3$  пикселей по координатам  $X$  и  $Y$  появляется дополнительная возможность определения координат точек пересечения профиля с линией, эквидистантной средней линии на заданном уровне.

Блок измерения позволяет фиксировать результаты измерения не только одной наводки на резкое изображение, но двух и более, обеспечивая запоминание результатов измерения профиля до линии, заданной оператором по высоте профиля. Последующие измерения профиля производятся от заданной линии и суммируются с предыдущими результатами измерений.

На рис. 4 показан профиль поверхности объекта.

Устройство работает следующим образом. Изображение поверхности объекта 9 вместе с наложенной на него интерференционной картиной проецируется на ПЗС-матрицу видеокамеры 12V1 1/2'' V/W LONG CCD CAMERA. Передача изображения в компьютер производится внешним устройством записи GrabBee X+ USB 2.0 AV Grabber. Устройство имеет инсталлятор VideoHome. Оцифрованное изображение поступает в компьютер для обработки с помощью специально разработанным программным обеспечением.

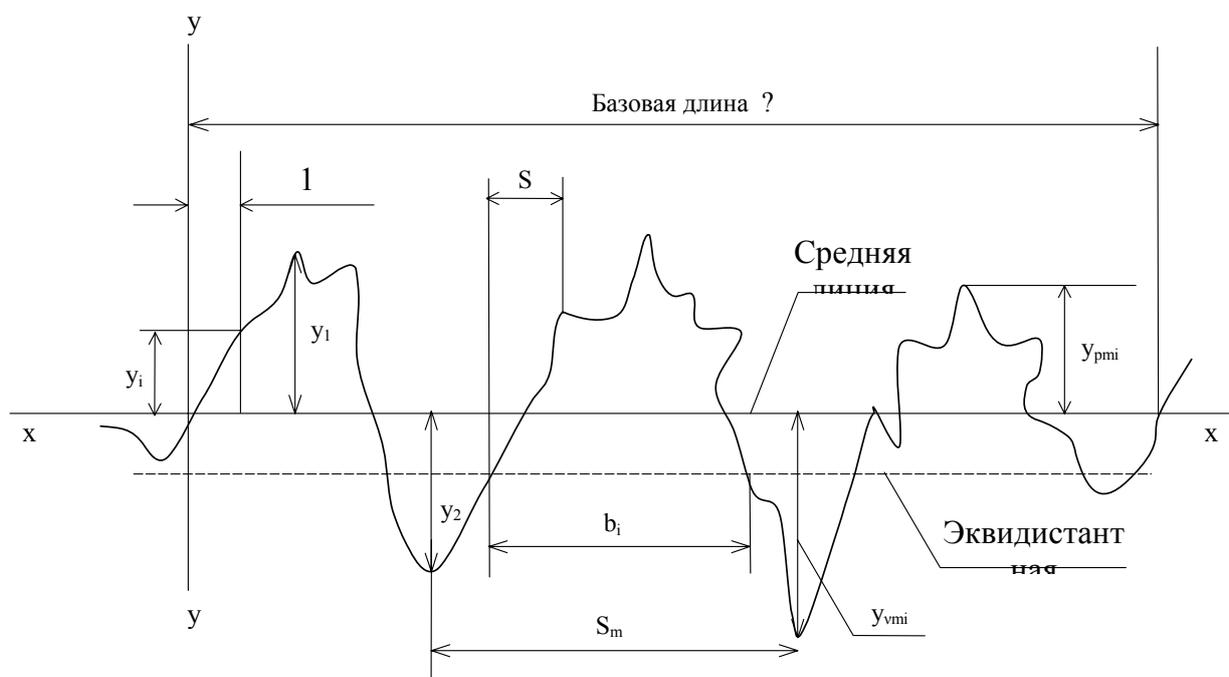


Рис. 4. Профиль поверхности объекта

ПО обеспечивает решение следующих задач.

- По координате  $Y$ :
  1. измерение координат  $y_i$  через один пиксель;
  2. измерение неровностей профиля по десяти точкам наибольших выступов и впадин ( $y_{pmi}$  и  $y_{vmi}$ );
  3. измерение наибольшей высоты профиля  $R_{max}$ .
- По координате  $X$ :
  1. измерение шага неровностей профиля  $S_m$  и опорной длины профиля;
  2. измерение шага местных выступов  $S$ ;
  3. измерение длин отрезков  $b_i$ , отсекаемых в материале на заданном уровне сечения  $p$  профиля линией, эквидистантной средней линии.

На персональном компьютере по измеренным параметрам производится вычисление следующих характеристик шероховатости поверхности.

- По координате  $Y$ :
  1. вычисление среднего арифметического отклонения профиля  $R_a$ , при этом определяется и средняя линия на базовой поверхности;
  2. вычисление высоты неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$ ;
  3. определение наибольшей высоты профиля  $R_{max}$  в пределах базовой длины.
- По координате  $X$  вдоль эквидистантной средней линии:
  1. вычисление среднего шага неровностей профиля и опорной длины профиля;
  2. вычисление среднего значения шага местных выступов профилей;
  3. вычисление опорной длины профиля на заданном уровне сечения  $p$ ;
  4. вычисление относительной опорной длины.

Разработанный ИВК существенно ускоряет определение параметров опорной длины профиля, что важно при исследовании износа, трения и других требуемых технических характеристик поверхностей. Использование ИВК позволяет за счет автоматизации процесса измерения и обработки результатов измерения сократить время определения всех регламентируемых ГОСТом параметров шероховатости в одном поле зрения не менее чем в 10–20 раз. При этом значительно уменьшается утомляемость оператора благодаря ликвидации ручной, визуальной наводки на точки профиля поверхности.

## Пример работы разработанного ИВК

Контроль качества исследуемого образца осуществляется по разработанной методике, включающей несколько этапов. Рассмотрим каждый из них отдельно.

Этап 1. Исходное изображение.

Исходное изображение получено видеокамерой и повернуто, чтобы обеспечить приблизительную горизонтальность интерференционных полос. Изображение введено в программу обработки в формате \*.BMP (рис. 5) с 256-градациями серого цвета.

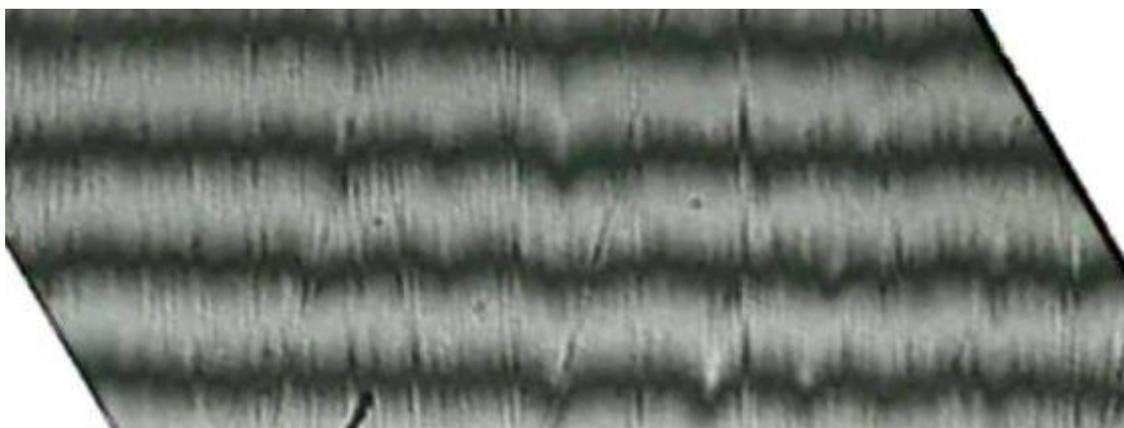


Рис. 5. Исходное изображение

Этап 2. Выделение нужной полосы.

Оператор манипулятором «мышь» выделяет нужную интерференционную полосу (рис. 6) и включает режим фотометрирования.

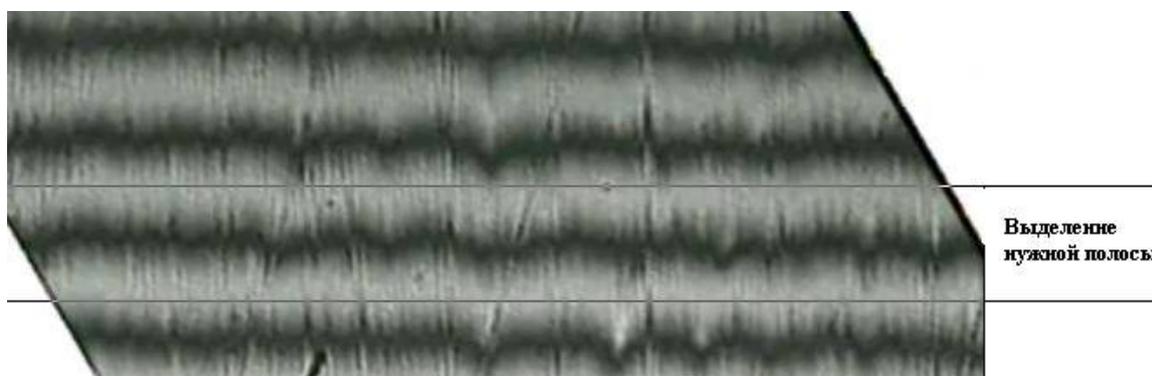


Рис. 6. Выделение интерференционной полосы

Этап 3. Фотометрирование выделенной полосы.

Фотометрирование производится поиском минимума засветки по вертикали между линиями выделения для каждой горизонтальной координаты. Результат поиска представлен на рис. 7. Массив точек по координатам записывается в память в виде таблично заданной функции. Эта функция также представлена на рис. 7.

Этап 4. Компенсация наклона, фильтрация шума, сглаживание и определение основных характеристик полученной фотометрической кривой.

Компьютерная обработка кривой сводится к следующему. У табличной функции фотометрирования компенсируется наклон с помощью линейной аппроксимации, проводится фильтрация высокочастотных осцилляций путем усреднения по заданному промежутку. На рис. 8 показана сглаженная кривая и приведены отфильтрованные точки. Указаны базовая длина, линии выступов, линии впадин, линии среднего арифметического отклонения, обозначены выделенные неровности.

На графике (рис.8) выделены основные элементы в соответствии с ГОСТ 2789-73. Отфильтрованные точки оставлены на рисунке для сравнения.

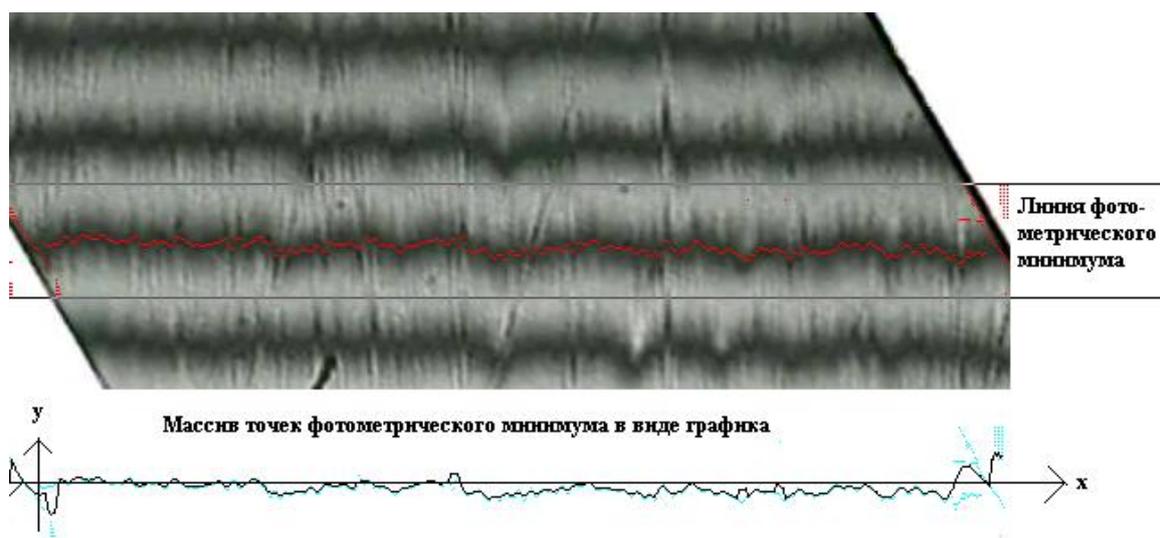


Рис. 7. Выделение линии фотометрического минимума

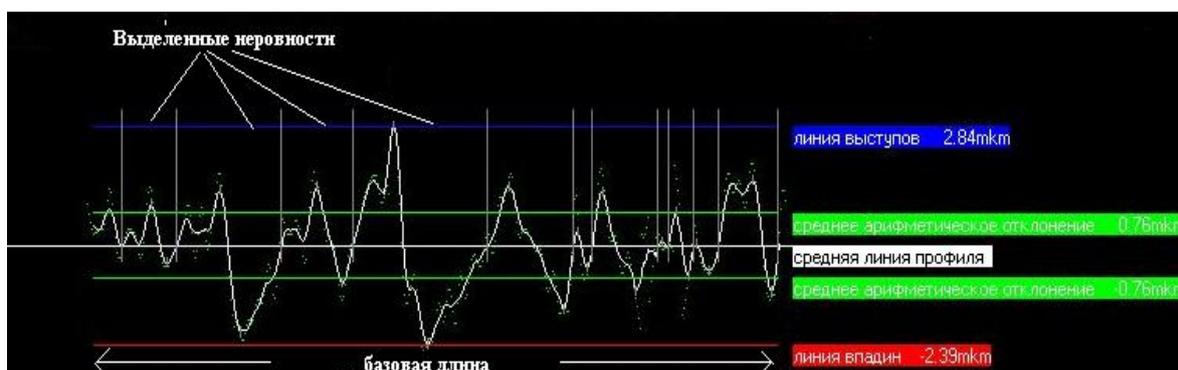


Рис. 8. .Фильтрованная и сглаженная кривая фотометрирования

Кривая представляет собой табулированную функцию, позволяющую вычислять все основные элементы, входящие в определение шероховатости поверхности:

1. базовая длина, содержащая более 5 неровностей (выбрана длина 203 мкм);
2. средняя линия профиля;
3. неровности профиля (отделены вертикальными чертами, пересекающими среднюю линию профиля и линию выступов);
4. выступы и впадины профиля в пределах неровности (выше и ниже средней линии);
5. линии выступов профиля 2.84 мкм;
6. линии впадин профиля 2.39 мкм;
7. направление неровностей профиля;
8. шероховатость поверхности (прописан полный профиль поверхности в пределах базовой длины);
9. шаг неровностей профиля (обозначены все неровности в пределах базовой длины);
10. средний шаг неровностей профиля в пределах базовой длины  $S_m = 19.1$  мкм;
11. высота неровностей профиля в пределах базовой длины  $Rz = 2.86$  мкм;
12. наибольшая высота профиля  $R_{max} = 2.84 + 2.39 = 5.23$  мкм;
13. среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra = \pm 0.76$  мкм.

Общее число неровностей в пределах базовой длины – 11.

## Заключение

Предложенные принципы, алгоритмы, математические модели и проектные процедуры явились базой для создания соответствующего программно-алгоритмического обеспечения разработанного ИВК. Основываясь на данной работе, можно разрабатывать конкурентоспособное на рынке оборудование, которое позволит проводить качественный анализ микро- и наноструктур элементной базы отечественной электроники.

## Литература

1. Scott Thompson, Mohsen Alavi, Makarem Hussein and ath. 130nm Logic Technology Featuring 60nm Transistors, Low-K Dielectrics, and Cu Interconnects. // Intel Technology Journal. 2002. V.6. №.2. P. 5–13.
2. Мейеран Ю.С., Флинн П.А., Каррузерс Дж. Р. Аналитические методы в технологии СБИС. // ТИИЭР. 1987. Т. 75. № 7. С.50–101.

# МЕТОД СПЕЦИАЛИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ НА ОПРЕДЕЛЕННЫЙ КЛАСС ИЗДЕЛИЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Н.Ю. Иванова, Н.Ю. Романова, Ю.Б. Таяновская

Предложен метод параметрического моделирования объекта проектирования путем сопоставления ему некоторого типового объекта, дано математическое описание модели объекта как функции определенных параметров проектирования.

## Введение

Математическое моделирование объектов проектирования относится к классу сложных задач, и при их алгоритмизации возникают определенные трудности, которые решаются благодаря использованию средств вычислительной техники и компьютерных технологий. Использование математическое моделирования позволяет:

- сокращать сроки проектирования объекта и запуска его в производство за счет совершенствования организации всего цикла проектирования и отладки проектных решений на моделях;
- повышать качество и конкурентоспособность объектов за счет внедрения геометрического моделирования, математических методов анализа и оптимизации конструкции объекта.

При математическом моделировании последовательно осуществляется: проектирование конструкции изделия, изготовление чертежей, расчет динамики работы объекта. Каждому этапу проектирования соответствует своя математическая модель: статическая, параметрическая, динамическая.

## Параметрическое моделирование

Для выполнения параметрического проектирования прежде всего необходимо создание виртуальной модели реального объекта, сохраняющей такие его свойства, как форма, размеры и взаимное расположение элементов. За счет специализации моделей на определенный тип изделий обеспечивается высокий уровень математического моделирования. При моделировании по AutoLISP-программам в среде AutoCAD требуется предварительная параметризация объектов проектирования.

Под параметризацией понимают представление некоторого класса геометрических объектов с помощью значений его параметров, которое позволяет автоматически получать конкретный объект, а также осуществлять автоматизированный выпуск конструкторской и технологической документации, необходимой как для подготовки производства, так и для самого производства.

На рис. 1 приведена схема функционирования параметрической САПР, в которой для проектирования объектов используется параметрическая модель объекта, и реализован итерационный процесс проектирования с использованием ввода параметров, визуализацией, оценкой и компоновкой объекта.

Технология типового конструирования предполагает проектирование объекта путем сопоставления ему некоторого типового объекта, определения значений всех его размеров, а также определение дополнительных элементов, которые отличают проектируемую деталь от типовой [1]. Для поддержки этой технологии требуется представление проектируемого объекта в параметризованной форме, типовые объекты и дополнительные элементы.

Поскольку результатом процедуры проектирования является не только получение виртуальной модели объекта, но и генерация его чертежа, необходимо ввести в модель

вспомогательные элементы – размеры, дополнительные виды, сечения, разрезы, текст и штриховку. На чертеже обычно представлено различное количество сечений, видов, разрезов, что позволяет использовать параметризацию по размерам при его изготовлении, учитывая, что геометрия чертежа может быть рассчитана по эскизу и значениям нанесенных на эскизе размеров.

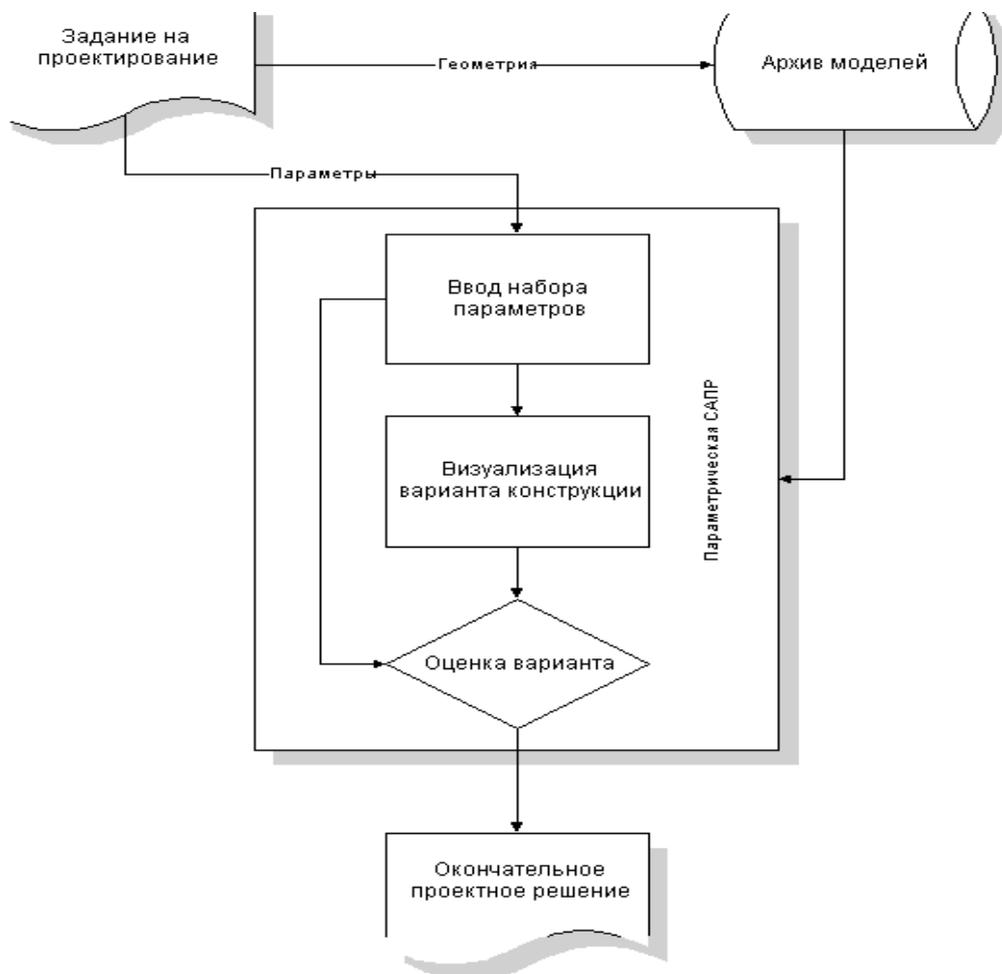


Рис. 1. Схема функционирования параметрической САПР

Процедура параметризации подразумевает, что любой чертеж с правильной и полной расстановкой размеров может служить описанием класса чертежей, различающихся значениями размеров. Следовательно, для создания параметризованного чертежа достаточно построить эталонный чертеж-образец.

Параметризация по размерам опирается на возможность расчета геометрии чертежа по приближительному эскизу, в котором определяется состав геометрических элементов, размерные отношения и наглядные геометрические отношения. Совокупность геометрических и размерных отношений при заданном наборе элементов образует систему ограничений, достаточную для расчета геометрии чертежа [2].

Все данные, которые используются для представления параметризованного чертежа, составляют его модель. В модели можно выделить две части: параметрическую и топологическую, по которым, соответственно, рассчитывается геометрия для заданных значений размеров и строится экземпляр чертежа. Параметрическая модель состоит из трех множеств:

$$M_{par} = \{E_0, G, D\},$$

где  $E_0$  – множество геометрических элементов;  $G$  – множество геометрических отношений;  $D$  – множество размерных отношений. Например, множество  $E$  содержит точ-

ки, прямые и окружности. Отношение (размерное или геометрическое) определяется типом и набором участвующих в нем элементов.

Топологическая модель задает соответствие между элементами чертежа и геометрическими элементами параметрической модели. По топологической модели, используя полученные в результате расчета параметры геометрических элементов, строится чертеж-образец.

Многие задачи имеют несколько решений, и, как правило, для одного набора значений существует множество чертежей-образцов, удовлетворяющих одной и той же модели. Рассмотрим критерий, с помощью которого из этого множества выделяется единственный, в определенном смысле наиболее подходящий, чертеж-образец. Выбор должен делаться только на основании чертежа-образца и не должен требовать дополнительной информации от пользователя.

Выбор осуществляется следующим образом. Пусть по чертежу  $E_0$ , который используется в качестве чертежа-образца параметризованного чертежа и которому соответствуют значения размеров  $d_0=(d_{10}, \dots, d_{k0})$ , построена модель  $M_{par} = \{E_0, G, D\}$ . Для любого набора значений  $d_1$  процедура выбора определяет из конечного множества экземпляров, удовлетворяющих модели  $PM$ , единственный экземпляр  $E_1$ . Этот экземпляр будет либо похож на образец  $E_0$ , либо похожего экземпляра не будет, и тогда выдается соответствующее сообщение. Процедура выбора задает на множестве экземпляров, удовлетворяющих модели  $PM$ , отношение «условно равен», обозначаемое далее  $\cong$ . В этой системе параметризации принцип выбора удовлетворяет следующим свойствам:

- рефлексивность – выбор для значений размеров, совпадающих со значениями размеров образца  $E_0$ , должен дать сам образец  $E$ :  $E_0 \cong E_1$ ;
- симметричность – если при использовании образца  $E_0$  с размерами  $d_0$  среди экземпляров с размерами  $d_1$  выбран экземпляр  $E_1$ , то при использовании образца  $E_1$  среди экземпляров с размерами  $d_0$  должен быть выбран  $E_0$ :  $E_0 \cong E_1 \Rightarrow E_1 \cong E_0$ ;
- транзитивность –  $E_0 \cong E_1, E_1 \cong E_2 \Rightarrow E_0 \cong E_2$ ;
- однозначность –  $E_1 \cong E_2, d^{\sim}(E_1) = d^{\sim}(E_2) \Rightarrow E_1 \equiv E_2$ . Здесь  $d^{\sim}(E)$  – это вектор размеров для экземпляра  $E$ . Данное свойство делает однозначным выбор при одинаковых значениях размеров;
- непрерывность – образец и выбранный экземпляр должны отличаться друг от друга незначительно при близких значениях размеров.

## Заключение

В статье рассмотрены актуальные производственные задачи, направленные на построение оптимальной системы параметрических моделей. Описанный метод и аппарат параметризации представляет собой инструментальное средство конструктора, предназначенное для автоматизированного построения, параметризации и модификации рабочих чертежей объекта проектирования на языке AutoLISP для ПЭВМ IBM PC. При программной реализации на параметрическую модель изделия накладываются определенные геометрические и размерные ограничения.

## Литература

1. Коваленко В.Н., Ревякин Ю.Г., Хухлаев Е.В. Параметризация машиностроительных чертежей, основанная на поэлементном расчете. // Программирование. 1992. № 2. С. 64–77.
2. Inozemtsev A.N., Troitsky D.I., Bannatyne M. W. McK Parametric Modelling: Concept and Implementation // Proceedings of the IEEE International Conference on Information Visualisation. July 19-21, 2000, London, England. P. 504–509.

# СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ УИРС

З.Г. Симоненко, В.Л. Ткалич

В статье анализируются содержательные аспекты УИРС, вытекающие из анализа тенденций организации современного учебного процесса.

## Введение

Подготовка студентов к научно-исследовательской деятельности является неотъемлемой составляющей высшего профессионального образования, включенной в Государственный образовательный стандарт. Предварительным этапом НИР является УИРС, во время проведения которой происходит последовательное ознакомление со всеми этапами научной исследовательской работы и обучение студентов навыкам самостоятельной теоретической и экспериментальной работы. Особенности проведения УИРС являются массовость, непрерывность и проведение в учебное время.

В настоящее время в тенденциях организации современного образовательного процесса высшей школы прослеживаются следующие факторы: повсеместное внедрение информационных технологий в учебном процессе, увеличение доли учебной самостоятельной работы студентов (СРС) за счет сокращения аудиторных занятий.

В статье рассматриваются содержательные аспекты УИРС в свете наметившихся тенденций образовательного процесса высшей школы.

## Основная часть

В процессе выполнения УИРС результат определяется актуальностью и глубиной исследований, проводимых кафедрами вуза, четкостью сформулированной задачи, широким участием в этих исследованиях профессоров и преподавательского состава, кураторством руководителя и личной инициативой студента.

Общие методические вопросы проведения УИРС (программы, пособия, план эксперимента и т.д.) разрабатываются и выдаются руководителями, ответственными за проведение УИРС на кафедрах.

УИРС целесообразно начинать с первого курса и вести на протяжении всего периода обучения студентов в вузе. Элементы научного поиска и научных исследований включены во все виды учебной работы. Поэтому анализ содержания УИРС осуществляется в два этапа.

Первый этап – подготовительный этап для младших курсов. Задачей этого этапа является формирование интереса студентов к специальности и научно-исследовательской деятельности при изучении общеобразовательных дисциплин. Студентов знакомят с методологическими основами научных исследований, формируют представление о научно-техническом творчестве, развивают навыки самостоятельной работы по углубленному изучению фундаментальных наук. Младшим курсам с целью формирования творческого подхода к вопросам исследования читается курс лекций «Концепции современного естествознания».

Содержание УИРС на этом этапе включает в себя реферирование отдельных тем изучаемых курсов, поиск справочной, научной, учебной литературы, составление библиографии по определенным темам, участие в разработке учебно-методических пособий (таблиц, макетов, моделей), изготовление по заданиям кафедр чертежей, схем, плакатов и т.д.

Второй этап – формирование исследовательских навыков и умений для студентов старших курсов, получающих специализацию на выпускающих кафедрах. Задачей этого этапа является развитие научно-исследовательской активности студентов, обучение

студентов методологии научного исследования, подготовка студентов к творческой производственной и научной деятельности.

Содержание УИРС может варьироваться от курсовой работ до выполнения выпускной квалификационной работы, содержащей итоги самостоятельных наблюдений. При этом студенты осваивают различные виды работ: конспектирование, аннотирование, составление тезисов, обзоров и рефератов, патентный поиск.

В процессе выполнения УИРС происходит ознакомление с современными методами научного исследования, техникой эксперимента, с навыками самостоятельной теоретической и экспериментальной работы, выполнения расчетов с использованием современной вычислительной техники, овладение основами программирования и современными компьютерными технологиями, проверки достоверности и точности результатов измерений, обработки и анализа полученных результатов, анализа полученных результатов, а также с реальными условиями работы в научных и производственных коллективах, с требованиями техники безопасности.

Содержательные аспекты УИРС в образовательном процессе высшей школы представлены на рис. 1.

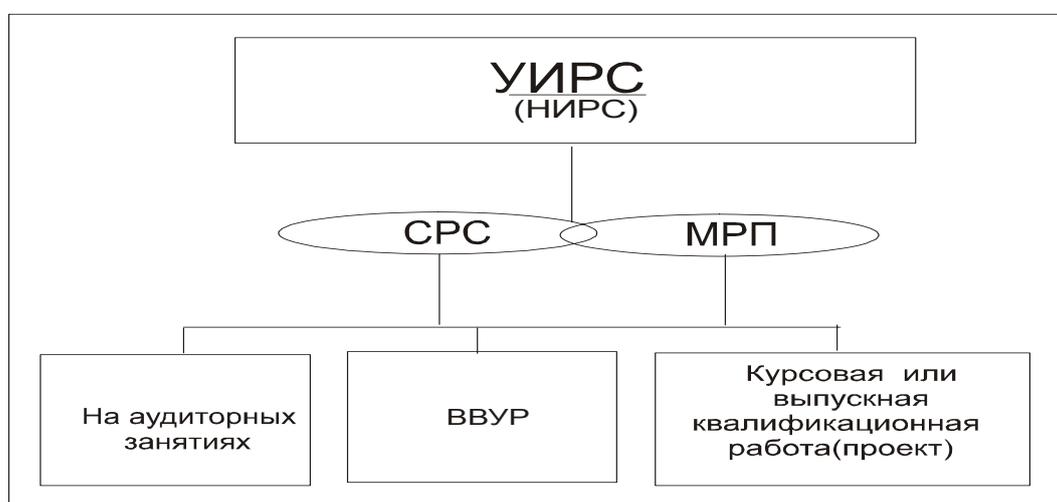


Рис.1.Содержание УИРС в образовательном процессе высшей школы: СРС – самостоятельная работа студентов, МРП – методическая работа преподавателя, ВВУР – внеаудиторное время самостоятельной работы студента

Усиление методической роли преподавателя заключается в том, что он выступает не только в роли транслятора нового знания на аудиторных занятиях, но и в роли организатора познавательной деятельности студента, проводника в потоке информации, специалиста, готового к объяснению и обсуждению любых вопросов, связанных с освоением программы соответствующего учебного курса.

Перенос в преподавательской деятельности центра тяжести с передачи готового знания на организацию работы студентов по самостоятельному получению этого знания требует от преподавателя большой подготовительной работы по методическому обеспечению учебного процесса.

СРС является одним из компонентов повышения качества подготовки специалистов, и для ее обеспечения необходимо создание студентам оптимальных условий для формирования навыка самообразования.

Наличие обеспечивающих СРС средств, представленных на рис. 2, учитывается при планировании учебного процесса и увеличении доли СРС в общем объеме времени обучения. Сюда входит: внедрение компьютерных технологий в учебный процесс, доступ обучающихся в Интернет, доступ к электронным ресурсам Университета, учебно-

методическое обеспечение УИРС. С расширением применения средств вычислительной техники, связи и базовых информационных технологий (ИТ) разрабатываются и поддерживаются прикладные ИТ при доступе к электронным ресурсам, таким как электронные учебники, системы информационного обеспечения и контроля усвоения знаний, системы дистанционного обучения, автоматизированная система курсового проектирования или выпускной квалификационной работы. В состав компьютерных технологий входят операционные системы, языки программирования и технологии их использования (компиляторы, библиотеки, CASE-технологии и т.д.), системы управления базами данных, экспертные и другие интеллектуальные системы.



Рис. 2. Средства обеспечения СРС

ИРС в условиях открытого доступа в Интернет предусматривает освоение учебного материала в ходе интерактивного общения с компьютером; повторение и закрепления усвоенных навыков, промежуточный и итоговый контроль полученных знаний, корректировку процесса обучения и его результатов и т.д. Можно привести многочисленные примеры, подтверждающие эффективность использования компьютеров на всех стадиях педагогического процесса.

Роль преподавателя на всех этапах заключается в научно-методическом и организационном сопровождении УИРС. Содержание методической работы преподавателя (МРП) представлено на рис. 3.

При этом интеграция учебного процесса с УИРС может осуществляться через традиционные и инновационные формы: Интернет-лекции, научные семинары различной методической направленности и т.д.

Оперативная обратная связь «студент – преподаватель» в условиях новых информационных технологий дает педагогу необходимую информацию о результатах СРС, которая имеет индивидуально-личностный характер, а также позволяет увидеть творческий рост каждого студента в процессе обучения.

Выбранные кафедрой формы контроля УИРС по каналу обратной связи доводятся до сведения студентов.

Организация УИРС возможна посредством выдачи индивидуальных заданий, которые являются одной из форм индивидуально-дифференцированного подхода к СРС. Большое значение для активизации творческого потенциала студента имеют формы контроля и оценки его работы.

Преподаватель в процессе УИРС оказывает методическую помощь студентам в организации их самостоятельной работы, при необходимости корректирует творческий процесс.



Рис. 3.Содержание МРП в процессе выполнения УИРС

Быстрое развитие информационных технологий, стремительный рост объема научной информации, развитие междисциплинарных областей знаний делает уязвимой систему образования, нацеленную лишь на углубленную узкую специализацию. В связи с этим возникает необходимость внедрения методологии научного творчества в учебный процесс. Впервые основные положения новой методологии основанной на ОИП были сформулированы в Великой Хартии университетов (1988), провозгласившей в качестве основного принципа организации учебного процесса его неразрывную связь с исследовательской деятельностью.

Суть принципа заключается в привлечении студентов к активной познавательной деятельности, в «ориентации учебного процесса на развитие творческого потенциала личности, воспитании культуры мышления, овладении методологией науки и, в конечном итоге, на подготовку специалиста, способного находить пути решения проблем, возникающих в производственной и научной сфере» [1].

Реализация ОИП в УИРС может иметь свои специфические особенности. На младших курсах, например, следует говорить лишь об элементах исследовательского подхода в учебном процессе, на старших – существенная часть учебного процесса может быть организована по ОИП, поскольку у студентов уже появляется определенный багаж знаний по фундаментальным дисциплинам. Задание на УИР целесообразно формулировать так, чтобы оно имело перспективный характер. Успехи и наклонности студента определяют характер задания и его объем.

Результаты учебно-исследовательской работы по различным направлениям специализации (ГРВ, массоперенос, качество элементной базы ЭВС, САПР, схемотехника, элементы и системы управления, экспертные системы, математическое обеспечение прикладных задач проектирования, информационные технологии в образовании, защита информации) оформляются в виде отчетов. Лучшие работы студентов рекомендуются и направляются на ежегодные вузовские и другие студенческие научно-технические конференции, конкурсы, выставки.

## Заключение

Практика организации УИРС на факультете показывает, что осознание студентом содержания работы, важности ее выполнения, значимости полученных результатов стимулирует работу студентов, повышает их творческую активность.

Не должно быть резкой грани между УИРС и НИРС: они должны совпадать по тематике, а второе должно быть продолжением первого.

Проведенный анализ содержательных аспектов УИРС позволяет отметить недостатки в организации УИРС, в первую очередь, отсутствие кафедральных методических пособий по УИРС и новых форм сотрудничества с кафедрой прикладной математики в научной и методической деятельности.

## Литература

1. Братенникова А.Н., Василевская Е.И., Лахвич Ф.Ф. Обучающе-исследовательский принцип как средство реализации преемственности при формировании адаптивных компетенций специалиста. //Адаптация к профессиональной деятельности как психолого-педагогическая проблема: Мат. межд. конф. Барановичи: БГВПК, 2001. Ч. 2. С. 29–33.
2. Свиридов В.В. Об учебной литературе, отвечающей требованиям обучающе-исследовательского принципа подготовки студентов // Обучающе-исследовательский принцип в системе подготовки кадров: проблемы, поиски, решения. Материалы международной конференции. Минск. 1997. С.74–82.

# СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРОЦЕДУР

Б.А. Крылов

В работе рассматриваются основные идеи, используемые при создании автоматизированной системы синтеза предметно-ориентированных процедур обработки и анализа изображений, в основе которой лежит многокритериальная оптимизация на базе алгоритма вычисления оценок (голосования).

## Введение

Анализ тенденций развития систем автоматизированного проектирования (САПР) показал, что наиболее перспективной на сегодняшний день является концепция гибкой организации САПР, которая достигается наличием формализованных процедур синтеза структуры системы и адаптируемостью структур базовых компонентов комплекса: технических средств, программного, лингвистического и информационного обеспечения [1, 2]. Использование данной концепции дает возможность реализовать [3]:

1. синтез рациональной структуры САПР по ряду критериев (стоимостный подход и критерий эффективность/производительность);
2. проектирование широкого набора объектов с использованием в каждом конкретном случае оптимальных маршрутов проектирования;
3. мобильность САПР, заключающуюся в изменении и адаптации ее структуры и смене предметной области проектирования без замены или доработки комплекса базовых адаптируемых программных компонентов системы.

Указанная гибкость организации САПР обеспечивается:

1. наличием подсистемы синтеза оптимальных маршрутов проектирования;
2. наличием интерактивного режима проектирования;
3. универсальным информационным и программно-лингвистическим обеспечением (базы данных, системы управления базами данных, базы знаний и т.д.);
4. адаптируемыми базовыми компонентами программного обеспечения.

## Структура программного обеспечения САПР предметно-ориентированных процедур

В целом решению перечисленных задач удовлетворяет структура САПР, представленная на рис. 1. В состав программного обеспечения входят [1, 4]:

1. управляющая подсистема – комплекс программ построения оптимальных маршрутов проектирования; ее функционирование осуществляется как в автоматическом, так и в интерактивных режимах;
2. система управления базами данных;
3. библиотека проектных операций, реализующих проблемную ориентацию САПР.

Управляющая подсистема САПР осуществляет оптимальный выбор (по ряду критериев) проектных операций для решения поставленных проектных задач, определяет порядок их выполнения, обеспечивает информационную совместимость операций в цепочке. Оптимальность понимается в смысле минимизации времени и максимизации качества решения задач имеющимся в составе САПР набором проектных операций; достижения информационной совместимости с минимальными потерями или минимальными запросами дополнительной информации. Этот комплекс программных средств в диалоговом режиме поддерживает следующие функции:

1. управление процессом проектирования на основе ввода и коррекции входного задания;

2. формулирование заданий на запуск подсистем, процедур или операций;
3. обмен информацией с банком данных (содержащим характеристики проектных операций для формирования оптимального маршрута проектирования в соответствии с заданием).

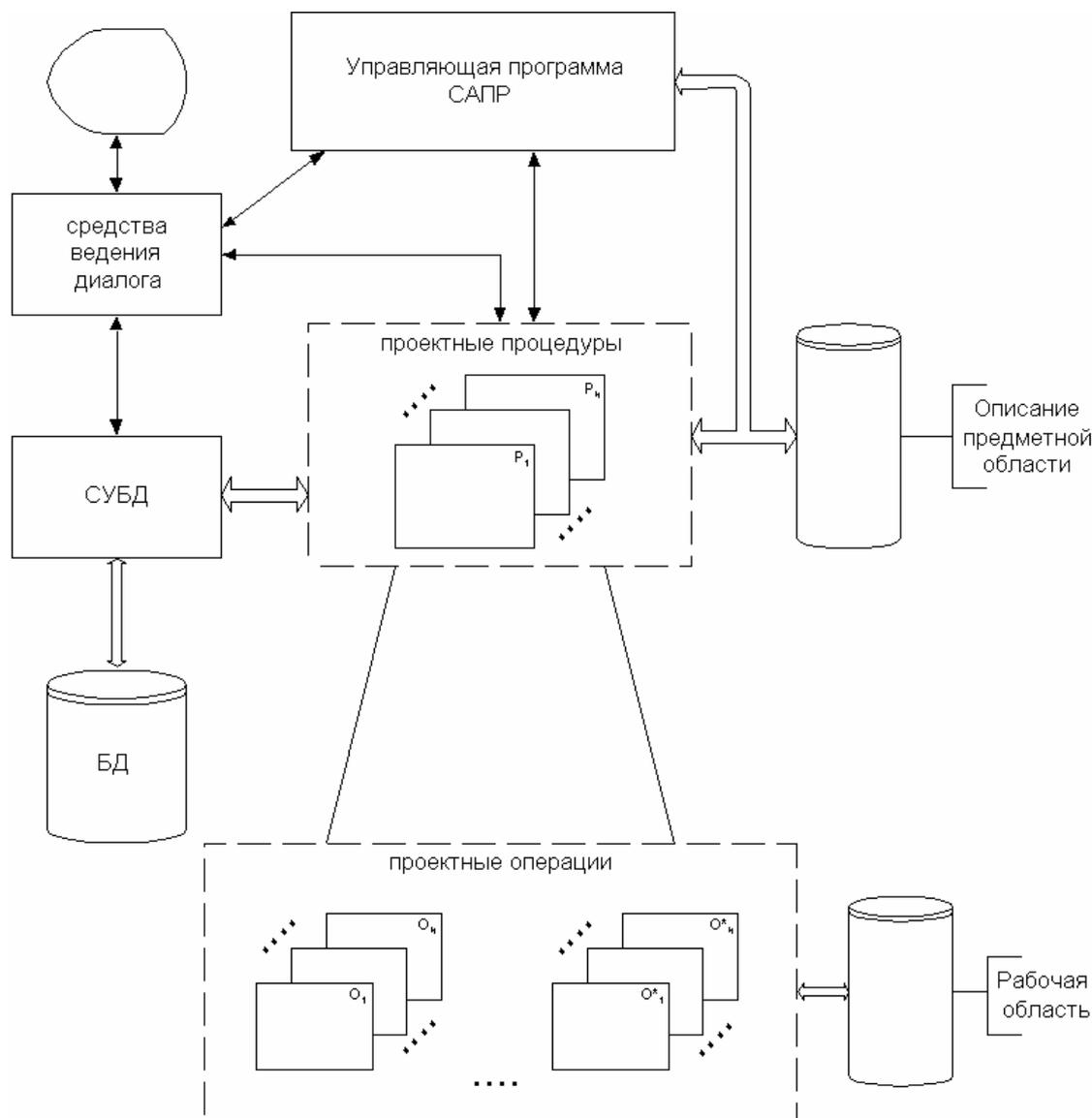


Рис. 1. Структурная схема адаптируемой САПР

Указанные свойства управляющей программы обеспечивают инвариантность САПР к составу программного обеспечения, ее адаптируемость к классу проектных задач. Адаптация осуществляется средствами банка данных, поскольку именно там хранится информация о проектных задачах, свойствах и характеристиках проектных операций [5, 6].

Адаптируемость САПР к классам решаемых ими проектных задач достигается за счет автоматического построения модели предметной области на основе ее формализованного описания.

Из сказанного следует, что САПР как решающая система концептуально определяется двумя категориями: объектом проектирования и процессом проектирования. В качестве объекта проектирования в нашем случае выступает последовательность операций (процедура) обработки и анализа изображений, а процесс проектирования определяется функциями обработки и анализа изображений.

## Подсистема синтеза процедур обработки и анализа изображений

Синтез структуры процесса обработки информации в общем случае нельзя отнести к классу формально разрешимых задач. Формальные методы структурного синтеза могут разрабатываться лишь для относительно узкого круга задач, в широком смысле эта задача неразрешима [1]. В нашем случае реализована автоматизированная процедура синтеза маршрута обработки и анализа изображений, предусматривающая активное участие пользователя в процессе принятия решений.

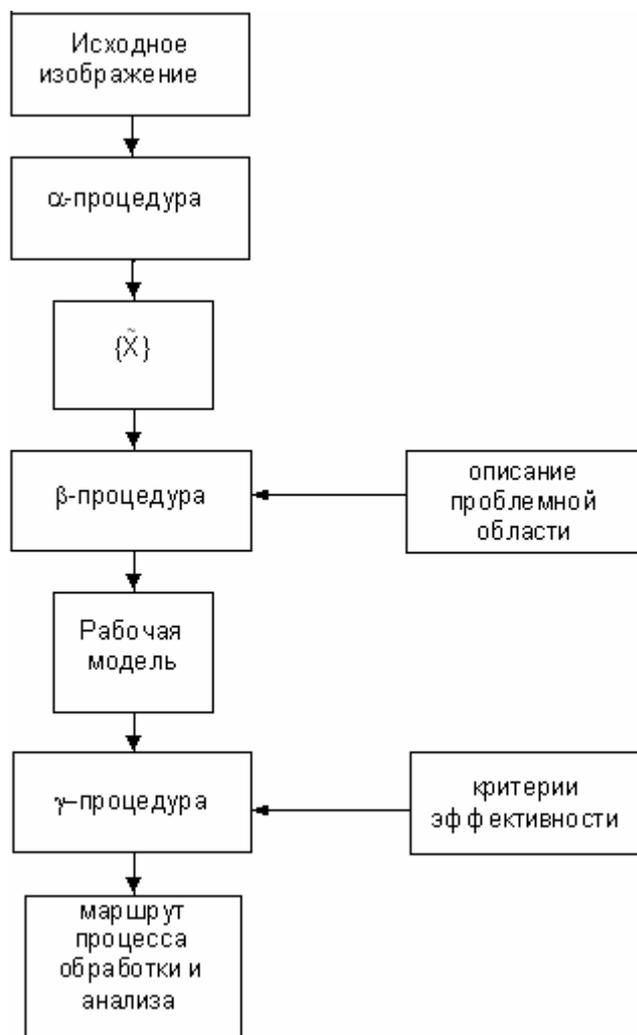


Рис. 2. Структурная схема процедуры синтеза маршрута процесса обработки и анализа изображений

Подсистема решает следующие основные задачи (рис. 2):

1. анализ объекта исследования (α-процедура);
2. первичный синтез маршрута процесса обработки и анализа изображения (β-процедура);
3. оптимизация маршрута процесса обработки и анализа изображения (γ-процедура).

Исходной информацией для проектирования процедур служит:

1. исходное изображение;
2. описание предметной области, куда входит описание задачи исследования и форма выходного отчета;

3. директивы, прямые указания на использование тех или иных элементов программного, информационного или технического обеспечения.

Подсистема может работать в двух основных режимах: режиме распознавания (или классификации) и режиме обучения.

На первом этапе  $\alpha$ -процедура определяет основные характеристики исходного изображения. На практике это некоторое подмножество численных параметров (например, общая площадь свечения, энтропия изображения, коэффициент формы и т.п.).

На основе полученных данных и информации, введенной пользователем,  $\beta$ -процедура формирует перечень операций, последовательная работа которых приведет к реализации процесса обработки и анализа изображения. Информация о функциональных операциях находится в библиотеке операций, в разделе описания программных средств. Описание конкретной операции состоит из следующих разделов:

<описание операции> ::= <J><J<sub>1,1</sub>>...<J<sub>1,k</sub>><J<sub>2,1</sub>>...<J<sub>2,n</sub>><J<sub>oc</sub>>;

<характеристика 1><характеристика 2><J<sub>3,1</sub>>...<J<sub>3,m</sub>>,

где J – идентификатор программы; J<sub>1,i</sub> – идентификатор решаемой задачи; J<sub>2,j</sub> – идентификатор предметной области; J<sub>oc</sub> – идентификатор ОС, обеспечивающий функционирование программы; J<sub>3,i</sub> – идентификатор используемого оборудования. Характеристика 1 представляет собой матрицу условных вероятностей, полученную на этапе обучения при решении модельных задач J<sub>1,i</sub>. Характеристика 2 определяет время решения задачи. На практике используется число условных операторов, проработавших при реализации решения *i*-ой задачи.

На следующем этапе  $\chi$ -процедура производит оптимизацию полученного маршрута обработки и анализа изображения.

В результате взаимосвязанной работы всех трех процедур на выходе подсистемы получаем процедуру обработки и анализа изображения.

Качество решения задачи во многом определяется качеством формирования обучающей последовательности. Проблема решается с помощью коллектива экспертов – группы специалистов, объединенной для проведения экспертизы и принятия коллективного решения. Это довольно сложный процесс, так как для этого необходимо иметь достаточно большое число прецедентов принятия решения этими экспертами. В связи с этим коллектив экспертов проходит обучение, после чего фиксируется состав группы. Экспертам предлагается независимо от общего решения принимать свое решение относительно каждого исследованного объекта или процесса. Полученный результат усредняется и добавляется к обучающей последовательности.

## Заключение

Описанный подход реализован в программном комплексе «ГРВ Технология». На его основе разработан ряд модификаций программно-аппаратных комплексов для исследования параметров газоразрядного свечения объектов различной природы.

Комплекс используется для исследования энергоинформационного обмена в биологии и медицине, для анализа структуры различных объектов в технике.

Программно-аппаратный комплекс сертифицирован комитетом по новой медицинской техники МЗ РФ и выпускается серийно, внедрен в медицинских и исследовательских центрах России, Англии, Германии, США, Финляндии, Швеции.

## Литература

1. Гридин В.Н. Теоретические основы построения базовых адаптируемых компонентов САПР МЭА. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1998. 256 с.

2. Крылов Б.А., Кузнецов А.Л., Яковлева С.Ю. Проблема адаптации САПР на базе ЕС ЭВМ к классу объектов проектирования / Разработка и применение в народном хозяйстве ЕС ЭВМ. Тез. докл. н.-т. семинара. М., 1985. Ч.1. С.157–158.
3. Малышев Н.Г., Мищук Н.В. Основы оптимального управления процессами автоматизированного проектирования. М.: Энергоатомиздат, 1990. 224 с.
4. Крылов Б.А., Кузнецов А.Л., Яковлева С.Ю. Инструментальная САПР на базе мини-ЭВМ / Автоматизация конструкторского проектирования РЭА и ЭВА. Тез. докл. н.-т. семинара. Пенза, 1986. С. 34–35.
5. Крылов Б.А., Петухов Г.А., Яковлева С.Ю. Информационное обеспечение САПР ПП на базе АРМ (СМ-4). / Проектирование и изготовление РЭА. Тез. докл. н.-т. семинара. Фрунзе, 1986. С.20–22.
6. Крылов Б.А., Герцена Е.В., Кузнецов А.Л. Программное и информационное обеспечение диалогового ввода данных в САПР. / Автоматизация конструкторского проектирования РЭА и ЭВА. Тез. докл. н.-т. семинара. Пенза, 1987. С. 29–31.

# СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕКУРСИВНЫХ КОДОВЫХ ШКАЛ

В.А. Климанов, А.Г. Коробейников, А.А. Ожиганов

В работе рассматриваются различные варианты построения преобразователей линейных и угловых перемещений на основе рекурсивных кодовых шкал. Предложена структура автоматизированной системы, предназначенной для проектирования шкал данного вида. Рассмотрен принцип ее функционирования.

## Введение

В информационно-измерительных и автоматизированных системах управления с использованием ЭВМ широко применяются устройства аналого-цифрового преобразования, одним из видов которых являются преобразователи перемещения в код. В [1] приведена классификация таких преобразователей. В последнее время в связи с интенсивным развитием интегральной технологии, наряду с традиционными требованиями по разрешающей способности, быстродействию и помехоустойчивости, существенное значение приобрели предъявляемые к устройствам кодирования требования по технологичности, массогабаритным характеристикам и надежности.

В большей степени требованиям по разрешающей способности, быстродействию и помехоустойчивости удовлетворяют преобразователи с непосредственным преобразованием перемещения в код на основе считывания с использованием пространственного кодирования, основным элементом которых является кодовая шкала (КШ).

Классические шкалы обычно выполняются с использованием обыкновенного двоичного кода (ОДК), циклических кодов и на основе кодов специальной структуры. По структуре применяемого кода в [1] представлена классификация КШ. Известен ряд работ, посвященных вопросам синтеза кодовых шкал, трудоемкость изготовления которых в 2–8 раз, а габариты приблизительно в два раза меньше по сравнению со шкалами, имеющими кодовую маску, выполненную в обыкновенном двоичном или в традиционном коде Грея. Значительный вклад в решение данных вопросов внесли В.Г. Домрачев, Б.С. Мейко, В.В. Кривенков, Ю.С. Шарин, и другие отечественные и зарубежные ученые.

В [2] рассмотрены рекурсивные кодовые шкалы (РКШ), которые позволяют на своей основе создавать преобразователи перемещений с улучшенными массогабаритными, технологическими и одновременно надежностными характеристиками.

Традиционные шкалы, выполненные в ОДК или в коде Грея, практически всегда имеют один вариант построения. В отличие от них РКШ, как показано в [2], могут быть представлены множеством вариантов выполнения кодовой маски, а также различным размещением считывающих элементов (СЭ). Поэтому представляется актуальной задача разработки системы, которая позволила бы автоматизировать некоторые этапы построения РКШ для преобразователей перемещения.

## Типы рекурсивных кодовых шкал

На рис. 1 приведена классификация рекурсивных кодовых шкал (РКШ), в основу построения кодовых дорожек которых положены двоичные последовательности. Классификация относится к шкалам преобразователей углового и линейного перемещения.

В качестве первого классификационного признака используется свойство линейности рекурсивных последовательностей по отношению к оператору суммирования по модулю два. По этому признаку РКШ делятся на две группы: кодовые шкалы на основе линейных рекурсивных последовательностей (РП) и шкалы на основе нелинейных РП.

В свою очередь, КШ на основе линейных РП подразделяются на три группы: КШ на основе псевдослучайных последовательностей максимальной длины (ПСПМД), КШ на основе последовательностей неполных циклов (ПНЦ) и КШ на основе композиционных последовательностей (КП). Кодовые шкалы на основе ПСПМД называются псевдослучайными кодовыми шкалами (ПСКШ).

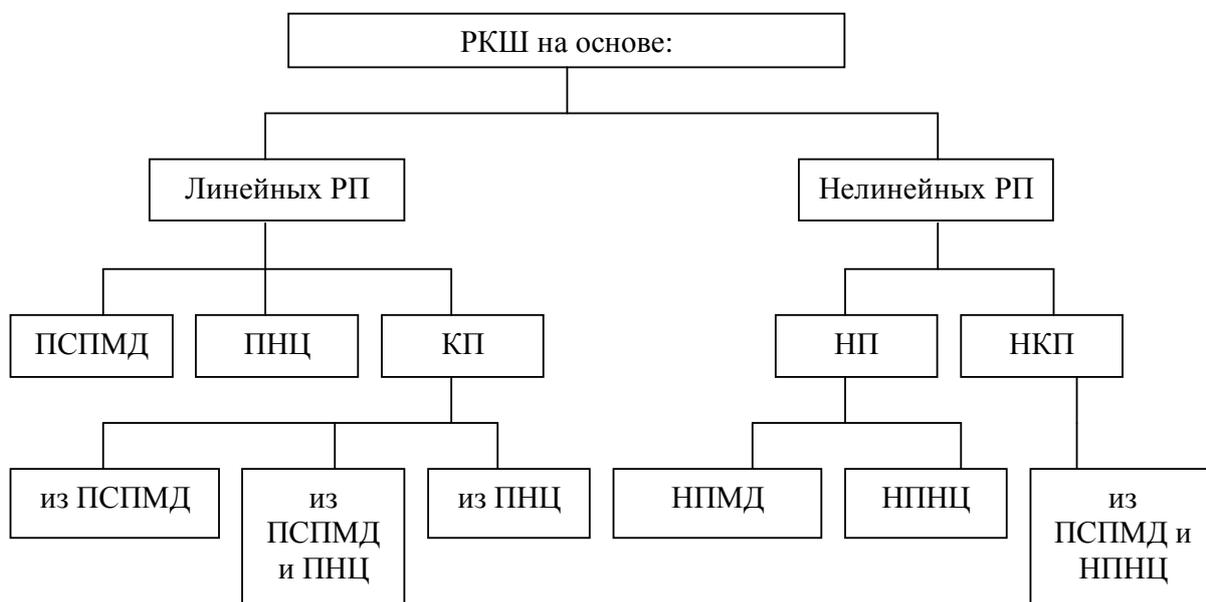


Рис. 1. Классификация рекурсивных кодовых шкал

Последовательности неполных циклов (ПНЦ) строятся на основе неприводимых (над полем Галуа  $GF(2)$ ) полиномов. Исследования показали, что такие КШ будут иметь значительно меньшую, по сравнению с ПСКШ, разрешающую способность.

Кодовые шкалы на основе композиционных последовательностей могут быть разделены на три группы: КШ на основе композиционных последовательностей, где КП получаются из различных сочетаний М-последовательностей; КШ на основе композиционных последовательностей, где КП получаются из сочетаний М-последовательностей и ПНЦ; КШ на основе композиционных последовательностей, где КП получаются из различных сочетаний ПНЦ.

Принципы построения КШ на основе КП, где последовательности получаются из различных сочетаний М-последовательностей, рассмотрены в [2]. Именно такие кодовые шкалы названы ККШ.

Кодовые шкалы на основе нелинейных РП подразделяются на две группы: КШ на основе нелинейных последовательностей (НП) и КШ на основе нелинейных КП (НКП).

В свою очередь, КШ на основе НП также делятся на две группы: КШ на основе НП максимальной длины (НПМД) и КШ на основе НП неполных циклов (НПНЦ).

Принципы построения КШ на основе НПМД рассмотрены в [2]. Кодовые шкалы на основе НПМД получили название нелинейных кодовых шкал (НКШ).

Принципы построения КШ на основе НПНЦ в данной работе не рассмотрены. Получение НПНЦ подробно рассмотрено в работе [3]. Последовательности неполных циклов, также как и НПМД, позволяют строить на своей основе КШ, однако их разрешающая способность будет заведомо меньше, чем разрешающая способность КШ на основе НПМД.

Кодовые шкалы на основе НКП могут быть разделены на две группы: КШ на основе НКП, где НКП получаются из сочетаний М-последовательностей и НПМД, и КШ

на основе НКП, где НКП получаются из различных сочетаний линейных и нелинейных последовательностей как максимальных, так и неполных циклов.

Нетрудно видеть, что наилучшей разрешающей способностью будут обладать КШ на основе НКП, где НКП получаются из сочетаний М-последовательностей и НПМД.

### Автоматизированная система проектирования РКШ

Традиционные задачи автоматизации – повышение производительности, исключение ручного и малоквалифицированного труда – сохраняют свою актуальность [4].

Автоматизированная система проектирования РКШ должна обеспечивать решение следующих задач:

1. синтез РКШ для преобразователей значительной (до 20 разрядов) разрешающей способности, связанный с трудоемкой процедурой получения кодовой последовательности длиной до  $2^{20}$ ;

2. корректность размещения считывающих элементов. РКШ выполняются с одной информационной кодовой дорожкой, вдоль которой размещаются информационные и корректирующие считывающие элементы;

3. многообразие вариантов выбора РКШ, которые удовлетворяют требуемым параметрам преобразователя и являются оптимальными с точки зрения технологичности его конструкции.

Таким образом, автоматизированная система проектирования РКШ должна обеспечивать:

- выбор типа преобразователя перемещений;
- выбор разрядности преобразователя;
- выбор типа рекурсивной кодовой шкалы (рис. 1);
- получение рисунка кодовой маски шкалы;
- размещение вдоль кодовой дорожки шкалы информационных считывающих элементов;
- размещение вдоль кодовой дорожки шкалы корректирующих считывающих элементов.

### Функционирование автоматизированной системы проектирования РКШ

Процесс функционирования автоматизированной системы поясняется рис. 2.

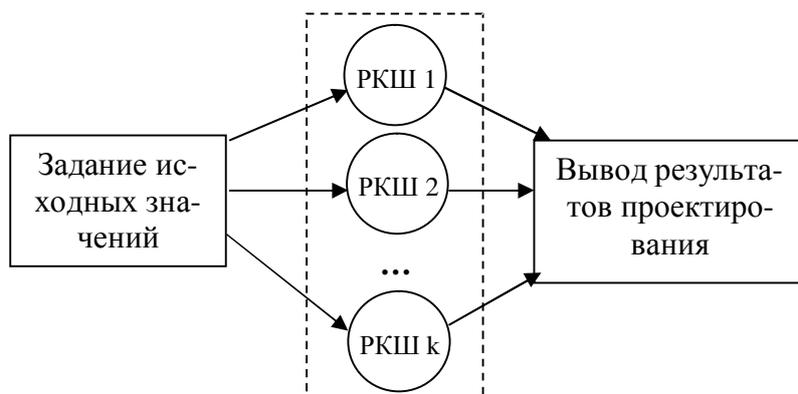


Рис. 2. Процесс расчета РКШ

В зависимости от того, какой тип РКШ проектировщик желает использовать в своем преобразователе, в таком состоянии и будет находиться система во время расчета РКШ данного типа. Число таких состояний определяется числом возможных вариантов

РКШ (рис. 1). Если рассмотреть процесс расчета любой из этих РКШ на уровне математических операций, то нетрудно заметить, что некоторые операции повторяются и могут быть применены в неизменном виде и для построения РКШ другого вида.

Рассмотрим пример построения РКШ на основе ПСПМД. Для построения  $n$ -разрядной ПСКШ выбирается примитивный неприводимый полином степени  $n$ , который имеет следующий вид:

$$h(x) = \sum_{i=0}^n h_i x^i, \quad (1)$$

где  $h_0 = h_n = 1$ , а  $h_i = 0, 1$  при  $0 < i < n$ . Далее на основании этого полинома строится рекурсивное соотношение

$$a_{n+j} = \sum_{i=0}^{n-1} a_{i+j} h_i, \quad (2)$$

где  $j = 0, 1, 2, \dots, M-n-1, M = 2^n - 1$ .

На основании этого рекурсивного соотношения при заданных начальных значениях генерируется псевдослучайная двоичная последовательность максимальной длины (далее  $M$ -последовательность) периода  $M=2^n-1$ :

$$\{a\} = a_0 a_1 a_2 \dots a_{M-1}. \quad (3)$$

$M$ -последовательности относятся к классу циклических кодов и могут задаваться с помощью порождающего полинома

$$g(x) = \frac{x^M + 1}{h(x)}, \quad (4)$$

$$g_j(x) = x^j g_0(x), j = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

Данное свойство  $M$ -последовательностей использовано для формирования полинома, определяющего порядок размещения на шкале  $n$  СЭ на ПСКШ:

$$r(x) = \sum_{m=1}^n x^{j_m}, \quad (5)$$

$$j_m \in 0, 1, \dots, M-1.$$

Соотношения (6) и (7) используются в дополнение к соотношениям (1)–(5) для построения линейных ПСКШ:

$$t = 2^n - (n-1) + j_n, \quad (6)$$

$$T = 2^n + j_n - 1. \quad (7)$$

Увеличение длины последовательности, положенной в основу построения рисунка КД линейной ПСКШ, как видно, зависит от полинома размещения СЭ на шкале.

Следовательно, для построения ПСКШ необходимо получить  $M$ -последовательность, а затем нанести ее как кодовую маску на заготовку шкалы, причем символам 1 последовательности должны соответствовать активные, а символам 0 – пассивные элементарные участки КД шкалы. Далее в соответствии с полиномом размещения СЭ вдоль дорожки шкалы необходимо разместить  $n$  информационных СЭ. СЭ вдоль шкалы размещаются таким образом, чтобы с них была обеспечена возможность получения  $M$   $n$ -разрядных кодовых комбинаций. Это достигается за счет линейной независимости  $n$ -последовательностей, снимаемых с ПСКШ при ее полном перемещении. Размещение информационных СЭ вдоль КД шкалы представляет собой отдельную задачу.

Итак, при рассмотрении данного примера мы убедились, что при проектировании различных РКШ существует определенная последовательность операций (1)–(7). Сами операции могут повторяться для РКШ разных типов. В данном случае операции (1)–(5) повторяются для круговых и линейных ПСКШ, а для проектирования последних необходимо выполнить еще операции (6) и (7).

Таким образом, проектирование каждой из РКШ, представленной на рис. 1, можно представить в виде последовательности определенных операций – сценария расчета РКШ. Каждой РКШ будет однозначно соответствовать свой сценарий. Следовательно, выделив операции в отдельные объекты с четко определенными входными и выходными параметрами, можно будет комбинировать их в различной последовательности. В свою очередь, состояния, в которых должна находиться система во время расчета РКШ определенного вида (рис. 2), теперь заменяются на одно состояние – расчет РКШ. Находясь в этом состоянии, система просто выполняет последовательность операций, описанных в сценарии рассчитываемой в данный момент РКШ (рис. 3).

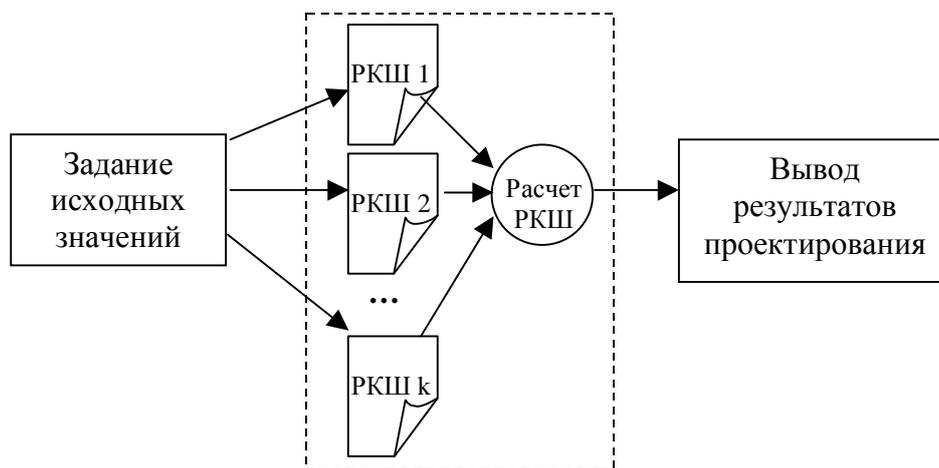


Рис. 3. Процесс расчета РКШ с помощью адаптивных сценариев

При подобном подходе сокращается количество программного кода, повышается степень его повторной используемости, что в конечном итоге сокращает время разработки автоматизированной системы.

Итак, сценарии являются определенной последовательностью операций и таким образом однозначно определяют РКШ, которой соответствуют. При этом они являются адаптивными. Свойство адаптивности сценария РКШ проявляется в описании условий, каким образом следует реагировать на дополнительные входные условия, полученные от пользователя. Например, проектирование круговой ПСКШ различных разрядностей без корректирующих возможностей либо с корректирующими возможностями производится с помощью одного адаптивного сценария. В зависимости от указанных пользователем системы входных параметров выбираются только те операции, которые нужны для проектирования РКШ в каждом конкретном случае.

### **Общая структура автоматизированной системы проектирования РКШ**

Система должна допускать модульное наращивание или изменение своих функций. Хорошо спроектированная система предполагает наличие механизма выборочного обновления своих функций вместо одного общего и дорогостоящего обновления всей системы.

Одной из главных тенденций современной индустрии информатики является создание открытых систем. Свойство открытости означает, во-первых, переносимость (мобильность) ПО на различные аппаратные платформы, во-вторых, приспособленность системы к ее модификациям (модифицируемость или собственно открытость) и комплексированию с другими системами с целью расширения ее функциональных возможностей и (или) придания системе новых качеств (интегрируемость) [4].

Переход к открытым информационным системам позволяет существенно ускорить научно-технический прогресс в результате замены длительной и дорогостоящей разработки новых систем по полному циклу их компоновкой из ранее спроектированных подсистем или быстрой модернизацией уже существующих систем (реинжиниринг).

Открытость подразумевает выделение в системе интерфейсной части (входов и выходов), обеспечивающей сопряжение с другими системами или подсистемами, причем для комплексирования достаточно располагать сведениями только об интерфейсных частях сопрягаемых объектов.

Если же интерфейсные части выполнены в соответствии с заранее оговоренными правилами и соглашениями, которых должны придерживаться все создатели открытых систем определенного приложения, то проблема создания новых сложных систем существенно упрощается. Из этого следует, что основой создания открытых систем является стандартизация и унификация в области информационных технологий.

Исходя из описанных выше соображений, рассмотрим структурную реализацию автоматизированной системы проектирования РКШ. Данная система должна состоять из следующих структурных элементов:

- интерфейсная часть взаимодействия с пользователем;
- диспетчер;
- модуль формирования сценариев расчета РКШ;
- модуль обработки сценариев (основной модуль расчета РКШ);
- модуль верификации;
- библиотека операций;
- библиотека сценариев;
- база данных полиномов, используемых при расчете кодовой маски РКШ;
- база технических решений с характеристиками преобразователей и их компонентов.

В дальнейшем для краткости совокупность четырех последних элементов структуры (библиотеки операций, библиотеки сценариев, базы данных полиномов и базы данных технических решений) будем называть банком данных автоматизированной системы.

Структура автоматизированной системы приведена на рис. 4.

Рассмотрим функциональное назначение каждого из этих элементов.

Библиотека операций представляет собой набор модулей с четко определенными входными и выходными параметрами, реализующими операции, необходимые для расчета РКШ. Модули реализованы на платформонезависимом языке программирования и помещаются на стороне сервера в виде хранимых процедур. Информация об имеющихся модулях может быть доступна через словарь данных сервера СУБД.

База данных полиномов содержит примитивные неприводимые полиномы, используемые при расчете РКШ. С увеличением разрядности число таких полиномов одной разрядности увеличивается, что приводит к значительному их количеству.

Библиотека технических решений содержит некоторую справочную информацию по типовым преобразователям, их характеристикам и характеристикам их основных частей. Данная информация используется на этапе верификации РКШ.

Библиотека сценариев содержит адаптивные сценарии работы системы, которые определяют, какие виды РКШ может рассчитывать автоматизированная система на данный момент. Сценарии, по сути, являются «программой» для модуля обработки сценариев и представляют собой последовательность вызываемых операций.

Модуль формирования сценариев служит для создания новых сценариев и управлением хранения уже имеющихся. Процедура создания и сохранения адаптивных сценариев производится квалифицированными инженерами в диалоговом режиме с помо-

щью пользовательского интерфейса и не требует программирования. Квалификация подобного персонала должна быть достаточно высокой, так как они непосредственно должны знать технологическую последовательность выполнения операций при проектировании РКШ определенного вида.

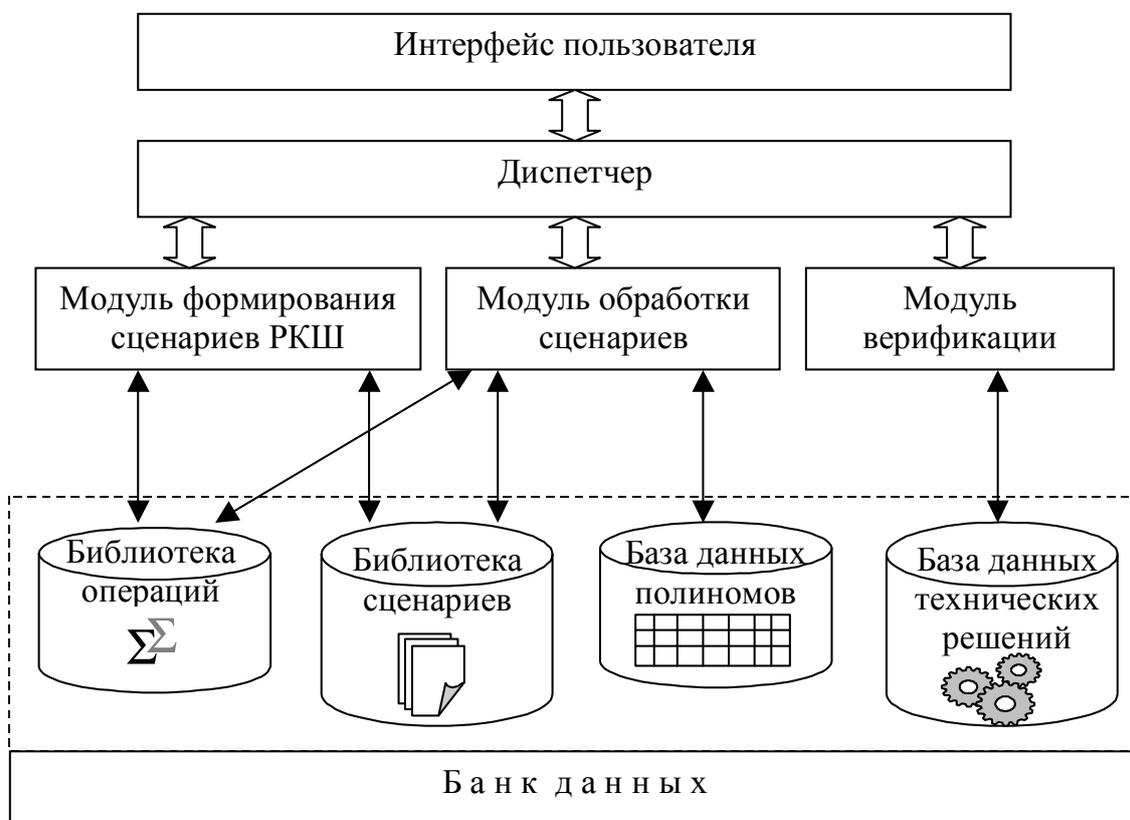


Рис. 4. Общая структура автоматизированной системы проектирования РКШ

Диспетчер управляет работой автоматизированной системы: непосредственно принимает команды пользователя, обрабатывает их, вызывает необходимые модули, передавая им и принимая от них необходимые данные.

Модуль обработки сценариев производит выборку из библиотеки сценариев и осуществляет расчет РКШ на его основе. Он обращается в библиотеку операций, выбирает требуемую операцию, передает ей входные параметры, на выходе получает результат. Так продолжается до тех пор, пока не будет обработана последняя операция, предусмотренная сценарием. Если того требует операция, модуль обработки сценариев обращается также в базу данных полиномов.

После того, как шкала сформирована модулем обработки сценариев, начинает работать модуль верификации, который вызывается диспетчером. Модуль верификации производит проверку полученной РКШ на соответствие необходимым техническим требованиям. Результаты верификации передаются диспетчеру, который, в свою очередь, может отдать команду модулю обработки сценариев пересчитать шкалу либо предъявить результаты проверки пользователю. В зависимости от дальнейшего выбора пользователя диспетчер также может вызвать модуль обработки сценариев с целью пересчета шкалы либо закончит работу по формированию шкалы.

Интерфейсная часть предназначена для взаимодействия с пользователем. В зависимости от требований к реализации она может быть выполнена в виде толстого, тонкого и сверхтонкого клиентов. Сама же автоматизированная система может работать в условиях двухуровневой или трехуровневой архитектуры модели «клиент–сервер».

## Заключение

В работе рассмотрена классификация рекурсивных кодовых шкал.

Сформулированы основные задачи, решаемые автоматизированной системой при проектировании РКШ.

Предложена общая структура автоматизированной системы. Рассмотрен принцип ее функционирования и назначение ее структурных элементов.

## Литература

1. Домрачев В.Г., Мейко Б.С. Цифровые преобразователи угла: принципы построения, теория точности, методы контроля. М.: Энергоатомиздат, 1984. 328 с.
2. Азов А.К., Ожиганов А.А., Тарасюк М.В. Рекурсивные кодовые шкалы. // Информационные технологии. 1998. № 6. С. 39–43.
3. Агульник А.Р., Мусаелян С.С. Построение нелинейных двоичных последовательностей. // Радиотехника. 1983. № 4. С. 19–28.
4. Норенков И.П. Автоматизированное проектирование. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 188 с.

# АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К КАТАЛОГИЗАЦИИ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И.В. Шилов, Н.Г. Силич, А.В. Маягин

## Введение

В настоящее время оцифровка больших объемов визуальных материалов не является проблемой с технической точки зрения. Рост объемов цифровых носителей данных, а также вычислительных мощностей компьютеров дал возможность сохранять множество потенциально актуальных цифровых элементов, помимо актуальных в данный момент. Например, во время разработки часто сохраняется множество версий одного и того же файла, которые могут понадобиться в будущем, но в текущий момент неактуальны.

В сложившейся ситуации возникает проблема обеспечения эффективного поиска информации в многократно возросших массивах данных.

В данной статье рассматривается проблема каталогизации графической информации технологического назначения, под которой понимаются как растровые (например, цифровые фотографии), так и векторные изображения (например, чертежи и карты). Задача состоит в том, чтобы, проведя анализ существующих подходов к хранению и поиску изображений, определить наиболее оптимальный для пользователя способ обработки, хранения и поиска графической информации.

## Анализ существующих подходов к каталогизации изображений

**Поиск по ключевым словам.** До недавнего времени одной из основных стратегий поиска изображений являлась индексация всех изображений ключевыми словами. Однако этот подход требует, чтобы оператор вручную пометил все изображения ключевыми словами, а это весьма трудоемкий и долгий процесс. Подобный метод затруднителен и по той причине, что некоторые особенности изображения с самого начала описать довольно сложно (очевидный пример – абстрактные картины), в то время как некоторые другие можно описать одинаково хорошо различными способами. Поиск по содержанию, авторам, теме, словам описания содержания изображения и по другой информации, ассоциированной с изображением, представляется недостаточным. Неоднозначность соответствия между визуальным содержанием и текстовым описанием снижает показатели точности и полноты поиска.

**Поиск по образцу.** На сегодняшний день разработана методика доступа к электронным коллекциям изображений с использованием комплекса средств – как текстовых описаний, так и характеристик визуального содержания, простейших – типа цветовой гаммы, и более сложных, связанных с распознаванием образов. Современная универсальная технология доступа к коллекциям изображений по визуальному содержанию связана с сопоставлением изображению набора визуальных примитивов (характеристик цвета, формы, текстуры) и определением количественной оценки близости изображений по значениям примитивов. Визуальные примитивы – это характеристики изображения, которые автоматически вычисляются по оцифрованным визуальным данным, позволяют эффективно индексировать и обрабатывать запросы с использованием визуальных свойств изображения. Текстовое описание и визуальная поисковая информация дополняют друг друга, обеспечивая возможность разностороннего поиска. Однако методы распознавания образов в настоящее время из-за отсутствия эффективных универсальных алгоритмов применяются в узких предметных областях. Запрос в этом случае может формулироваться в виде набора слов, возможно, с указанием соответствующего контекста, или в терминах визуальных характеристик, или представлять собой

комбинацию поисковых слов и определения визуального содержания. Поиск может выполняться итеративно: сначала поиск на основе ключевых слов как более быстрый способ, затем среди отобранного множества материалов – более трудоемкий поиск с использованием визуальных характеристик.

После подачи запроса на поиск система отыскивает изображения, визуально похожие на представленный образец. Система анализирует образец аналогично тому, как это делается при составлении поисковых образов изображений базы. Вычисление подобия изображения – образца изображениям коллекции – осуществляется на основании сравнения значений отдельных визуальных примитивов, при этом система определяет меру их отличия, а затем сортирует изображения базы в соответствии близости к образцу по всем параметрам, с учетом указываемой в запросе степени важности каждого параметра. Поиск на таком уровне абстракции не предполагает идентификацию объектов. Скажем, если в качестве образца взято изображение собаки, то система будет искать изображения, похожие на образец по цветовой гамме, композиции, наличию определенных форм и т.п., но нет никакой гарантии, что среди них окажется изображение именно этого животного. Таким образом, для нахождения необходимого изображения пользователю предстоит предъявить изображение – образец, заполнить текстовые поля и осуществить процедуру поиска несколько раз, что весьма неудобно и занимает достаточное количество времени.

### **Каталогизация изображения на базе тегирования с координатной привязкой**

Рассмотрев существующие подходы к организации поиска информации, можно сделать вывод о том, что все они имеют значительные неточности результатов поиска, а также требуют от пользователя ввода большого количества как текстовой, так и графической информации. Это представляется очень неудобным с точки зрения usability (эргономичности) и времени, затрачиваемого на ввод информации в поисковую форму (особенно если поиск осуществляется несколько раз), а также на просмотр и сортировку результатов поиска. К тому же, если в коллекции содержится довольно большое число изображений, быстродействие системы может значительно снизиться.

Все изложенное заставляет искать принципиально новые подходы к хранению и поиску изображений. Авторами предложена идея о потоковой каталогизации изображений, реализуемой с помощью маркировки изображений ключевыми словами (тегами) с их координатной привязкой. Каждому тегу сопоставляется пиктограмма, характеризующая его назначение.

Идея реализована авторами в программном продукте, который в настоящее время проходит опытную эксплуатацию. Программа рассчитана на широкий круг пользователей, предназначена для работы с большим количеством изображений и предоставляет возможность их быстрой маркировки и поиска.

Рассмотрим программу в действии. Для начала необходимо загрузить изображение в программный модуль. Затем пользователь решает, какие объекты изображения ему необходимо промаркировать. Процедура маркировки состоит в следующем: выбрав тег с панели тегов, находящейся справа, следует щелкнуть левой кнопкой мыши на тот объект изображения, который должен быть промаркирован. В примере (см. рис 1.) для маркировки взято фото котенка и двух утят, они маркированы тегом «animal».

Таким образом, используя метод маркировки изображений, пользователь может устанавливать степень конкретизации описания изображения с помощью тегов.

Процесс поиска промаркированного изображения выполняется следующим образом. Для заполнения формы поиска нужно указать теги, которые содержит искомое изображение, а также их количество (поиск по взаимному расположению тегов друг относительно друга на данный момент не реализован, но планируется в следующих

версиях). Результатом поиска будут являться все промаркированные изображения, отвечающие заданным в поисковой форме параметрам (см. рис.2).



Рис. 1. Животные маркированы тегом “animal”

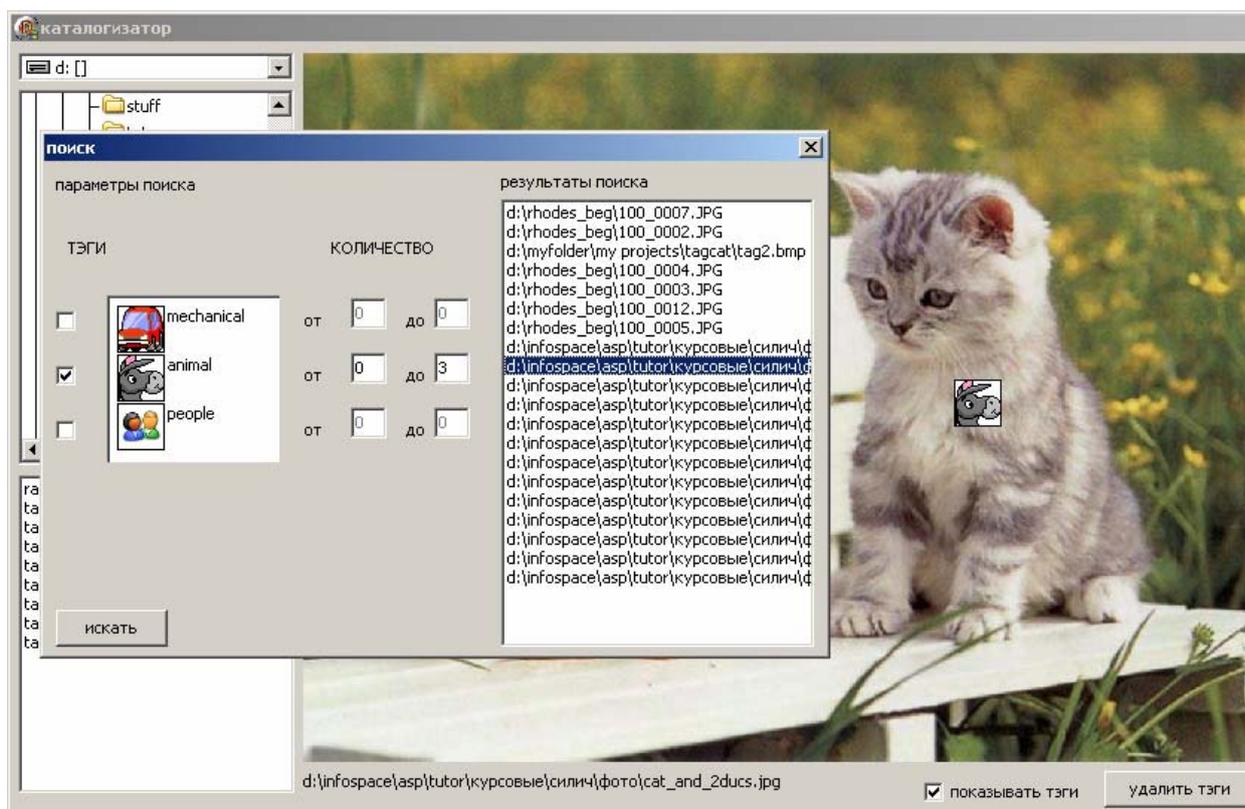


Рис. 2. Поиск изображений по тегам

Испытания программного продукта, проведенные на фокус-группе, показали, что предложенный потоковый каталогизатор изображений является удобным инструмен-

том для описания и поиска графической информации, так как прост в обращении, а процедуры маркировки и поиска занимают считанные секунды.

### **Выводы**

Из приведенных выше подходов к реализации поиска изображений можно сделать вывод о том, что поиск – это нахождение оптимального соотношения между usability и размером метаданных, необходимой для его осуществления. Используя потоковый каталогизатор изображений, пользователь сможет найти интересующие его изображения быстро и эффективно.

В дальнейшем планируется развитие подобного взгляда на процедуры хранения и поиска графической информации и усовершенствование программного продукта потоковой каталогизации изображений.

Подводя итог, хотелось бы отметить, что при разработке обозначенной проблематики следует переходить к другой терминологии, отказавшись от термина «каталогизация». Концептуально существуют носители данных, байты информации, записанные на них, и пользователь, ставящий задачу поиска в соответствии с текущим целеполаганием. Для обеспечения поиска данные нагружаются метаданными (которые хранятся на тех же носителях) – например, путем в дереве каталогов, тегами, текстовым описанием и программной сущностью, которая запускается по запросу пользователя и непосредственно выполняет поиск по данной структуре. Таким образом, правильнее было бы говорить о задаче организации хранения и поиска информации: каталогизация же – одно из решений этой задачи, заключающееся в организации с помощью метаданных дерева каталогов [3].

### **Литература**

1. [www.artinfo.ru/eva/EVA2000M/eva-papers/200008/Baigarova-R.htm](http://www.artinfo.ru/eva/EVA2000M/eva-papers/200008/Baigarova-R.htm)
2. Байгарова Н.С., Бухштаб Ю.А., Евтеева Н.Н., Корягин Д.А. Некоторые подходы к организации содержательного поиска изображений и видеоинформации. // Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша РАН. №78, Москва, 2002.
3. [www.glossary.ru](http://www.glossary.ru)

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ FLEX-ТЕХНОЛОГИЙ  
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТАХ****Д.Г. Штенников**

В статье рассматривается технология Flex, а также созданные с ее помощью Интернет-приложения.

В настоящее время Интернет-технологии развиваются лавинообразными темпами, и на рынок выходят все новые и новые средства для разработки Интернет-контента. Одним из таких средств является Macromedia Flex.

Macromedia Flex появился на рынке программ для создания Интернет-контента примерно 2 года назад и за эти неполные два года завоевал популярность у разработчиков Интернет-ресурсов, поскольку Macromedia Flex предлагает совершенно новый серверный подход к разработке Интернет-приложений, насыщенных мультимедиа-данными (Rich Internet Applications). Macromedia Flex основан на технологиях MXML (the Macromedia Flex Markup Language – разработанный специально компанией Macromedia вариант языка XML) и ActionScript 2.0 (ранее использовался исключительно как встроенный в среду Flash язык программирования). Поскольку язык XML хорошо знаком разработчикам Интернет-контента, а ActionScript 2.0 базируется на стандарте ECMA-262 (на этом же стандарте базируется JavaScript), то переход на создание приложений в новой среде для большинства разработчиков не требует особых затрат времени и сил. Плюс ко всему Flex позволяет разделять процессы программирования и дизайна, поскольку имеет внутри себя две составляющие:

- визуальную часть приложений, создаваемую при помощи MXML (данную часть возможно реализовать как путем набора в стандартном текстовом редакторе, так и при работе в визуальном конструкторе MXML-ресурсов);
- программную часть приложений, которая разрабатывается на объектно-ориентированном языке сценариев ActionScript 2.0. Для создания программ в ней также нет необходимости пользоваться специальными редакторами (например, Macromedia Flash).

Использование Macromedia Flex может значительно повысить производительность приложений и поднять эффективность разработки Интернет-приложений на более высокий уровень, так как проекты компилируются на сервере при выполнении и доставляются пользователю в виде готовых SWF-файлов, содержащих уже скомпонованные элементы.

К плюсам Macromedia Flex следует отнести:

- бесплатность для конечного пользователя;
- возможность импорта компонентов Flash MX 2004;
- поддержку формата SVG (Scalable Vector Graphics);
- возможность использования стандартных каскадных таблиц стилей (CSS);
- проверку достоверности клиентских данных;
- простой механизм создания диаграмм для бизнес-приложений и демонстрации результатов технических и научных задач.

Использование визуального конструктора Macromedia Flex Builder позволяет ускорить не только разработку Flex-приложений, но и HTML, а также таких компонентов Web-проектов, как ASP (Active Server Pages), JSP (Java Server Pages), PHP (Parsed Header Page). Flex Builder представляет собой интегрированную среду разработки для

Web-дизайнеров. Он основан на Dreamweaver MX 2004 и включает в себя основные его функциональные возможности.

При помощи вышеописанных технологий был реализован Интернет-магазин, который отличается от других Интернет-магазинов высокой степенью интерактивности, масштабированием для создания приложений разного содержания и объема, а также обладает удобством в использовании.

В качестве среды разработки был выбран Macromedia Flex Builder версии 1.5, которая отличается от своей предыдущей версии 1.0 тем, что включает такие новые компоненты пользовательского интерфейса, как: Tree component (структуризация данных), DataGrid component (управление большими массивами данных), а также различные навигационные компоненты (TabNavigator, ViewStack, Accordion, и пр.).

Созданное при его помощи приложение требует наличия на ПК Flash Plug-in'a и имеет размер около 1 мегабайта, что является несущественным при использовании новых высокоскоростных сетей доступа в Интернет, однако в современных российских условиях накладывает ограничения на сетевой трафик. Но, в отличие от других магазинов, созданных, например, при помощи PHP, дальнейшее обращение к серверу происходит лишь при покупке товаров.

Созданный Интернет-магазин состоит из трех областей, как показано на рис. 1.

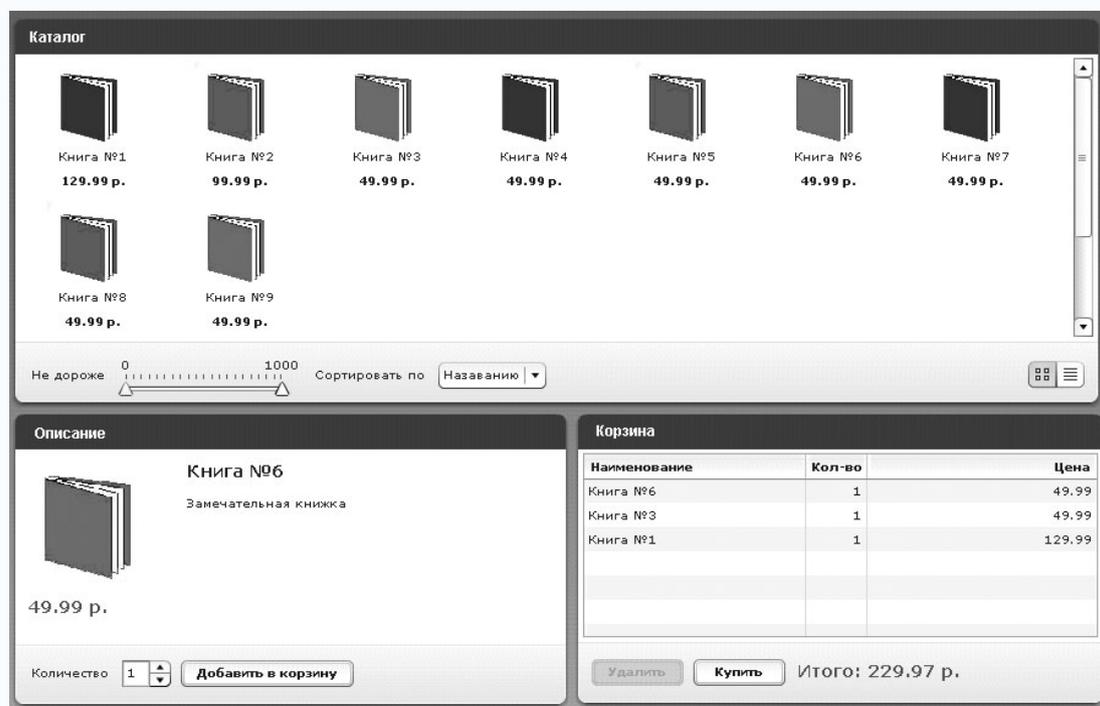


Рис. 1. Структура Интернет-магазина

- **Каталог.** Данная область создана для отображения товаров, находящихся в Интернет-магазине. Существует два вида отображения товаров: первый – в виде таблицы, полями которой являются наименование товара и его цена, и второй – в котором, кроме наименования и цены, отображается эскиз предлагаемого товара. Существует возможность сортировки товаров по цене и наименованию, а также возможность использования ценового фильтра, который затеняет товары, цена которых не попадает в указанный диапазон. При покупке товаров, находящихся в корзине, в области «Каталог» исчезают товары и появляются формы, которые необходимо заполнить для получения и оплаты товара. Необходимым было бы написание кода для проверки правильности введенного адреса элек-

тронной почты, но Macromedia Flex обладает механизмом проверки достоверности клиентских данных.

- **Описание.** Данная область создана для большего удобства пользователей, так как в ней покупатели могут просмотреть наименование товара и его описание, а также сам товар более детально. Эта область позволяет размещать на «прилавке» (имеется в виду область «Каталог») неизвестные виды товаров (часто бывает непонятно, что же изображено на картинке, название «этого» тоже не всегда помогает, как следствие – товар «залеживается»), так как в ней можно рассказать о каждом из них. В этой же области предусмотрена возможность указания количества приобретаемого товара (если пользователь хочет приобрести, например, 5 единиц какого-либо товара, ему не нужно нажимать на кнопку «добавить» 5 раз). Здесь же имеется кнопка для добавления наименования товара в «Корзину».
- **Корзина.** В этой области отображаются все покупаемые пользователем товары, их количество и цена. Имеется возможность удаления товара из списка покупок. Выводится сумма общей покупки.

При нажатии кнопки «Купить» в области «Корзина» происходит смена области «Каталог» на область, в которой пользователю необходимо заполнить следующие формы (рис. 2):

- «Информация о покупателе»;
- «Тип доставки»;
- «Информация о карте».

Наименование	Кол-во	Цена
Книга №6	5	49.99
Книга №5	1	49.99
Книга №3	1	49.99
Книга №1	1	129.99

Рис. 2. Заполняемая форма

После заполнения обязательных полей при нажатии кнопки «Купить» все данные отправляются на сервер и обрабатываются им. Покупателю остается только ждать получения своего заказа. Если какое-либо обязательное для заполнения поле не было заполнено, пользователь получит сообщение об этом. Отправка данных не произойдет до тех пор, пока все такие поля не будут заполнены.

База данных товаров создана при помощи языка MXML и имеет следующую структуру:

```
<catalog>
  <product id="1">
    <amount>количество товара на складе</amount>
    <name>наименование товара</name>
    <description>описание товара</description>
    <price>цена</price>
    <image>имя файла в котором хранится изображение товара</image>
  </product>
  .....
</catalog>
```

Создаваемые приложения компилируются на сервере и доставляются пользователю в виде готовых SWF-файлов, в которых содержатся все скомпонованные элементы. Это позволяет утверждать, что Macromedia Flex, за счет повышения производительности приложений, поднимает эффективность разработки на совершенно новый уровень.

Но, наряду с уже отмеченными положительными качествами Macromedia Flex имеет и два недостатка:

- высокие требования к аппаратному обеспечению сервера;
- зависимость от сетевого трафика.

Macromedia Flex Builder представляет собой интегрированную среду разработки для Web-дизайнеров, основанную на Dreamweaver MX 2004, и претендует на звание WYSIWYG (What You See Is What You Get) редактора. Но к таковым его причислить можно с трудом, так как для размещения элемента в нужной части экрана приходится изменять значения атрибутов данного объекта непосредственно в коде создаваемого приложения.



Рис. 3. Компоненты электронного обучающего комплекса по биологии

При помощи вышеописанной технологии были созданы компоненты электронного обучающего комплекса по биологии (рис. 3).

- **Электронный учебник** содержит множество разделов по биологии. На данном этапе в учебнике заполнено только три раздела: «Метаболизм – основа существо-

вания живых организмов», «Строение клетки» и «Химическая организация клетки». Остальные разделы находятся в стадии разработки.

- **Интернет-магазин.** В Интернет-магазине существует возможность приобретения книг, которые помогут учащимся углубить свои знания в области биологии.
- **Новости.** Свежие новости отображаются на новостной панели. Существует возможность перехода к списку всех ранее опубликованных новостей (при нажатии ссылки «Новости»).

К плюсам электронного образовательного комплекса по биологии следует отнести высокую интерактивность, наглядность, простоту и удобство в использовании. Для работы комплекса требуется установка Flash Player версии не ниже 8.

Таким образом, на примере создания компонентов электронного образовательного комплекса было рассмотрено применение интегрированной среды разработки Macromedia Flex Builder v.1.5. Кроме этого, в связи с выходом нового мультимедийного сервера фирмы Macromedia – Macromedia Flash Media Server 2.0, созданного специально для удобной разработки динамических и мультимедийных приложений, в том числе «поточкового видео», планируется доработка проекта под новые расширенные мультимедиа возможности.

# СЕТЕВОЕ СООБЩЕСТВО НА ОСНОВЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ИНТЕРНЕТ-ЦЕНТРА: ПЕРВЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**В.Н. Васильев, Л.С. Лисицына, А.В. Лямин**

В статье изложен опыт создания сетевого сообщества образовательных учреждений, занимающихся организацией и проведением курсов повышения квалификации различных категорий работников образования в области ИКТ, на основе сетевой многопользовательской ИС – методического Интернет-центра. Проводится анализ реализованной концепции сетевого сообщества, изложены пути ее доработки с целью повышения активности взаимодействия участников сообщества, расширения возможностей интеграции ресурсов МИЦ.

## **Введение**

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (СПбГУ ИТМО) разработал компетентностный подход к образованию на основе сетевых многопользовательских информационных систем (ИС) и впервые его реализовал в методическом Интернет-центре (МИЦ) (<http://ito-center.ifmo.ru>) для компетентностного повышения квалификации работников образования в области информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) [1]. МИЦ создан на основе научно-исследовательских работ СПбГУ ИТМО по ФЦП «Электронная Россия (2002-2010 годы)» (государственный контракт Министерства образования РФ № 1780 от 31.07.03, государственный контракт № 567 Федерального агентства по образованию РФ от 27.10.04 по направлению «Развитие системы подготовки специалистов по ИКТ и квалифицированных пользователей») и явился результатом многолетних наблюдений и обобщений большой практической работы по обучению современным ИКТ на курсах повышения квалификации различных категорий работников образования: учителей-предметников, методистов, администраторов образовательных учреждений (ОУ), школьных IT-специалистов. Разнообразие и повторяемость учебно-методических планов, краткосрочность и интенсивность обучения позволили выявить ряд закономерностей, характерных в целом для образовательной деятельности. На основе МИЦ сегодня сформировано и успешно развивается сетевое сообщество ОУ дополнительного профессионального педагогического образования Санкт-Петербурга (18 районных научно-методических центров города), получающих доступ к среде МИЦ для дистанционной методической поддержки компетентностного повышения квалификации в области ИКТ. В настоящее время идет формирование сетевого сообщества МИЦ из ОУ различных регионов Российской Федерации (к апрелю 2006 года официально заявили о своем участии в сетевом сообществе МИЦ 10 университетов РФ), для работы и общения которого университет ИТМО планирует в рамках проекта НФПК «Интернет-поддержка профессионального развития педагогов» (2006–2008 годы) доработать и развить концепцию МИЦ.

## **Концепция сетевого сообщества МИЦ (начальная версия)**

Сетевое сообщество МИЦ создавалось, прежде всего, для тиражирования передового педагогического опыта, накопленного в СПбГУ ИТМО на курсах повышения квалификации работников образования в области ИКТ. К концу 2006 года через курсы прошло 8614 человек, было издано 19 пособий по данной тематике. Модульная коллекция учебных программ с соответствующим содержанием учебно-методических материалов МИЦ насчитывала 116 модулей для развертывания 723 часов оригинальных занятий по данной тематике.

Взаимодействие в МИЦ обеспечивалось сетевой информационно-образовательной средой, которая порождала два типа виртуальных центров МИЦ (рис. 1): центр разработки (СПбГУ ИТМО) и множество центров потребления методической помощи (ОУ1, ОУ2, ..., ОУn). Сетевая среда предназначалась для организации взаимодействия виртуальных центров МИЦ на основе базовых Интернет-технологий с целью обеспечения совместной работы и сетевого общения. Ядром среды был конструктор минимальных модульных планов (ММП), позволяющий администратору виртуального центра создавать упорядоченный набор состояний компетентностей, необходимых и достаточных для освоения требуемых знаний и практических умений слушателей курсов. С точки зрения технологий конструктора МИЦ администратору необходимо было задать (выбрать из имеющегося набора состояний компетентностей) исходную и целевую ИКТ-компетентность слушателей. На основе ММП формировался личный курс [1] с соответствующим учебно-методическим комплексом (УМК). Среда МИЦ позволяла администратору центра потребления организовать доступ к УМК личного курса для всех зарегистрированных в его центре преподавателей-тьюторов, которые могли не только скачивать по Интернету различные модули УМК данного курса, но и получать дистанционные консультации от авторов-разработчиков, писать отзывы и рецензии по итогам использования заимствованных методик, публиковать на форумах МИЦ сведения об опыте использования данного УМК в своей педагогической практике.

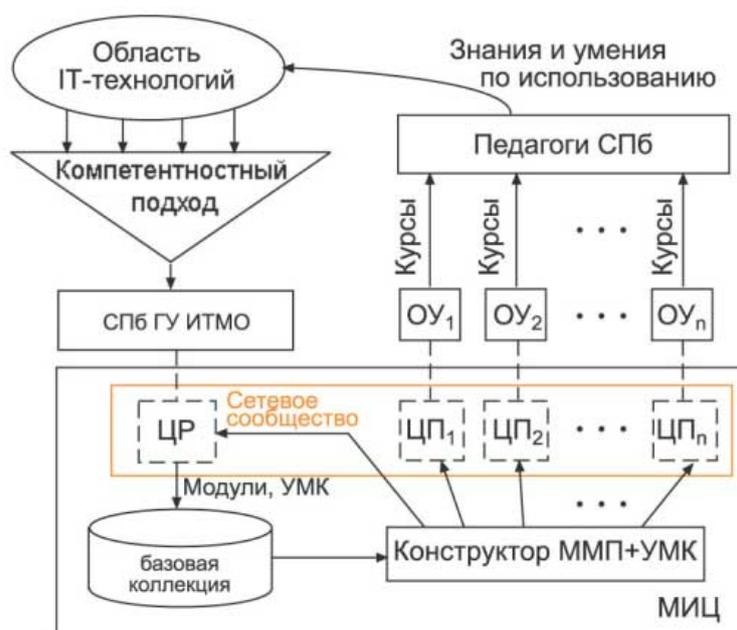


Рис. 1. Взаимодействие сетевого сообщества МИЦ

Характерной особенностью сетевого взаимодействия в МИЦ являлась *пассивность* центров потребления: такие центры не участвовали в разработке компетентностной модели предметной области, не могли самостоятельно размещать свои методические материалы в хранилище МИЦ. Они могли только получать дистанционную методическую поддержку в виде: готовых электронных УМК и консультаций от авторов-разработчиков из СПбГУ ИТМО. Наличие апробированных оригинальных методик обучения в области ИКТ, а также желание участвовать в разработке и пополнении коллекции методических материалов МИЦ определило главную задачу развития сетевой среды МИЦ – расширить права виртуальных центров, сделать всех участников сетевого сообщества активными участниками создания «методической копилки», приобщить к

разработке новых состояний ИКТ-компетентности МИЦ ведущих преподавателей не только из СПбГУ ИТМО, но и из других ОУ сетевого сообщества МИЦ.

### Основы разработки новых состояний ИКТ-компетентностей

Состояния ИКТ-компетентностей, используемые для планирования ММП, определяются как требования к знаниям и практическим умениям, которые должны быть сформированы у слушателя при освоении соответствующих компетенций. Языком формулирования таких состояний должен стать *язык результатов образования*, который предполагает независимость от конкретики содержания (конкретных технологий, приемов, методик обучения и т.п.). Это означает, что состояния ИКТ-компетентностей определяется тем, что узнает и что научится делать слушатель, например: создавать электронные документы, разрабатывать образовательные Интернет-ресурсы, проектировать базы данных и т.п. В формулировках ИКТ-компетентностей на языке результатов образования не должны указываться программные приложения, технологии и среды, с помощью которых данные навыки будут освоены.

Для разработки состояний ИКТ-компетентности слушателя необходимо описать новые компетенции в данной предметной области. Компетенции обладают важным свойством – они могут детализироваться и, тем самым, определять иерархию результатов образования в данной предметной области. Детализацию компетенций необходимо производить до тех пор, пока при их формулировках можно использовать язык результатов образования. Компетенции, при детализации которых исчезает смысл результатов образования, назовем *элементарными компетенциями* результатов образования. Каждая элементарная компетенция может быть описана набором сопоставимых состояний ИКТ-компетентности, отличающихся уровнями знаний и умений. На рис. 2 приведены требования к трем уровням знаний и умений, использованных в МИЦ для идентификации состояний ИКТ-компетентностей.



Рис. 2. Требования к уровням знаний и умений состояний ИКТ-компетентностей

### Основы доработки модели предметной области

Модель предметной области [2] устанавливает причинно-следственные связи между состояниями ИКТ-компетентностей и представляет собой ориентированный гипер-

граф  $H(X, P)$ , где  $X$  – множество различных состояний ИКТ-компетентности,  $P$  – множество гиперребер, устанавливающих  $N$ -арное отношение порядка на множестве  $X$  [1]. Каждое ориентированное гиперребро  $p_r = (I_r; x_r) \in P$  имеет:

- единственную вершину стока –  $x_r$ ,
- подмножество вершин истока –  $I_r \neq \emptyset, I_r \subset X \setminus \{x_r\}$ .

Это свойство модели является следствием требования уникальности состояний ИКТ-компетентности, которое обеспечивается средствами автоматизированного контроля среды МИЦ.

Поэтому внесение в модель предметной области нового состояния ИКТ-компетентности –  $k$  связано:

- с идентификацией данного состояния ИКТ-компетентности  $x_k \in X$  и проверкой его уникальности;
- с установлением вершин истока нового гиперребра  $p_k = (I_k; x_k) \in P$ .

Для идентификации состояния ИКТ-компетентности необходимо произвести разработку модели иерархии результатов образования данной предметной области и определить индекс состояния [1], в котором должны быть следующие поля:

**Компетенция. Уровень состояния [ . Профиль ] [ . Уровень образования ]**

Здесь поля, выделенные как  $[x]$ , являются необязательными и могут быть опущены. Поле **Компетенция** описывает детализацию компетенции вплоть до получения элементарных компетенций и имеет следующий формат:

**Компетенция вида деятельности – компетенция направления деятельности – компетенция приемов направления – ...**

Глубина детализации и, соответственно, иерархия результатов образования зависит от особенностей компетенции. Например: поле компетенции «2-1-2» соответствует следующей детализации компетенции [1]:

*Использовать ИКТ для обеспечения учебного процесса – разрабатывать образовательные Интернет-ресурсы – в виде компьютерных тестов*

Поле **Уровень состояний** определяется целым числом, соответствующим номеру данного состояния ИКТ-компетентности в ряду сопоставимых состояний данной элементарной компетенции. Например, состояние **2-1-2.1** соответствует начальному уровню (рис. 2) и требует:

<b>ЗНАТЬ:</b>	<b>УМЕТЬ:</b>
Контроль знаний с помощью тестов. Особенности организации дистанционного тестирования. Формы тестовых заданий. Сценарии тестирования. Оценка результатов тестирования.	Создавать тестовые задания в закрытой форме. Создавать линейные сценарии тестирования.

Поле **Профиль** соответствует в МИЦ двум категориям слушателей: П – пользователь персонального компьютера, I – программист или IT-специалист. По умолчанию в системе устанавливается профиль П. Поле **Уровень образования** введено для идентификации состояний ИКТ-компетентности студентов различных уровней образования (бакалавров и магистров), изучающих ИКТ в данной предметной области.

### **Особенности функционирования МИЦ в новой версии**

Доступ в систему осуществляется со страницы <http://ito-center.ifmo.ru> посредством стандартного Web-обозревателя. Для входа в систему необходимо указать логическое имя, пароль и выбрать из списка группы безопасности. Каждой группе безопасности

соответствует совокупность прав на доступ к ресурсам системы. В предыдущей версии системе были предусмотрены четыре группы безопасности:

- «Администратор»;
- «Автор программ»;
- «Менеджер курсов»;
- «Преподаватель-тьютор».

Для исключения противоречий между пользователями, являющихся сотрудниками различных ОУ, и предоставления пользователям дополнительных возможностей по управлению содержанием в новой системе необходимо переопределить распределение прав между группами безопасности.

Основными ресурсами системы являются словари, индексы состояния и их поля, электронные курсы и методические материалы, сообщения и доски объявлений, форумы и чаты, учетные записи пользователей и ОУ, зарегистрированных в системе. Разграничение прав пользователей на создание, просмотр, редактирование и удаление различных ресурсов в системе осуществляется по четырем признакам. Первый признак – группа безопасности, к которой принадлежит пользователь, второй признак – наличие у пользователя прав владельца ресурса, третий признак – наличие у пользователя прав пользователя ресурса, четвертый признак – ОУ, которому принадлежит пользователь. Владельцем ресурса по умолчанию становится пользователь, который создал этот ресурс. Изменить владельца любого ресурса и принадлежность ОУ может только член группы безопасности «Администратор». «Менеджер курсов» может изменить владельца ресурса, зарегистрированного в конкретном ОУ. При этом, «Менеджер курсов» при выборе пользователя-владельца имеет доступ только к списку пользователей, которые являются сотрудниками его ОУ. Правила доступа пользователей различных групп безопасности определяются выражением

$$P_1(x_1, x_2) \wedge P_2(x_2, x_3) \wedge P_3(x_1, x_3, x_4, x_5, x_6),$$

где  $P_1$  – предикат, определяющий принадлежность пользователем  $x_1$  группе безопасности  $x_2$ ;  $P_2$  – предикат, определяющий возможность выполнения команды  $x_3$  для группы безопасности  $x_2$ ;  $P_3$  – предикат, определяющий возможность выполнения команды  $x_3$  в зависимости от того, является или нет пользователь системы  $x_1$  владельцем ресурса  $x_4$ , пользователем ресурса  $x_5$  и сотрудником ОУ  $x_6$ , за которым закреплен ресурс. Подобная декомпозиция задачи определения прав на доступ к ресурсам системы позволяет значительно снизить объем программного кода и, как следствие, трудозатраты на разработку и модификацию среды центра.

Для установления состояний ИКТ-компетентности, которые непосредственно предшествуют новому состоянию, необходимо включить в перечень истоков соответствующего нового гиперребра те состояния, которые уже имеются в модели, или инициировать разработку недостающих предшествующих состояний. Среда МИЦ выполняет проверку возможности установления таких связей, а также извещает всех потенциальных разработчиков о необходимости доработки новых состояний ИКТ-компетентности.

Поддержание целостности иерархии результатов образования при добавлении новых состояний ИКТ-компетентностей требует сравнительного анализа добавляемых и существующих состояний. Возможность алгоритмизации данного процесса обеспечивается требованием, в соответствии с которым описание состояний компетентности осуществляется на основе тезауруса, который составляется экспертным советом МИЦ. При обнаружении совпадения нового состояния ИКТ-компетентности с существующим среда предоставляет пользователю две возможности: отказаться от добавления или добавить новое состояние ИКТ-компетентности, несмотря на найденное совпадение. В

последнем случае среда синхронизирует названия и описания совпавших состояний ИКТ-компетентностей и присваивает добавленному состоянию номер версии на единицу больше, чем у существующего. Далее среда оповестит пользователей о необходимости переноса ссылки с устаревшего состояния ИКТ-компетентности на новое. После того, как все ссылки будут перенесены, устаревшее состояние ИКТ-компетентности может быть удалено из среды.

### **Литература**

1. Васильев В.Н., Лисицына Л.С., Лямин А.В. Методический интернет-центр. – СПб.: Питер, 2005. 96 с.: ил. (опубликована на сайте [ito-center.ifmo.ru](http://ito-center.ifmo.ru))
2. Лисицына Л.С. Учимся строить модель результатов образования. // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2005. № 22. С. 100–108.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА  
СТУДЕНТОВ»****С.С. АКИМОВ**

Реформы современного отечественного профессионального образования предполагают поиск такой модели подготовки специалистов, в которой образовательный процесс обеспечивал бы сопряженность содержания обучения с организованной (контролируемой) самостоятельной работой студентов в развитии их индивидуальных способностей и учетом интересов профессионального самоопределения, самореализации. Разработка такой модели предполагает, в том числе соответствующее методическое обеспечение. В этой связи представляется перспективным целесообразным сделать ставку на разработку и внедрение электронных учебно-методических комплексов (ЭУМК) по конкретным учебным курсам и дисциплинам [1].

Одним из основных направлений информатизации современного российского образования выступает создание электронных учебных материалов и средств поддержки учебного процесса, что предполагает разработку электронных учебно-методических комплексов по различным дисциплинам, которые в свою очередь становятся важным средством методического обеспечения учебного процесса в единстве целей, содержания, дидактических процессов и организационных форм. Электронный учебно-методический комплекс выступает эффективным средством для изучения студентами учебных дисциплин и проведения их самостоятельной работы. [2].

Учебно-методические комплексы могут быть представлены как мультимедиа курсы, каждый из которых представляет собой комплекс логически связанных структурированных дидактических единиц, представленных в цифровой и аналоговой форме, содержащий все компоненты учебного процесса [3].

Таким образом, электронный учебно-методический комплекс можно определить как совокупность учебно-методических материалов, представленных на электронных носителях и способствующих эффективному освоению студентами учебного материала, входящего в учебную программу дисциплины плана подготовки студентов по одной из специальностей (направлению).

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Учебно-исследовательская работа студентов» предназначен для оказания помощи в изучении и систематизации теоретических знаний в области методологии научного исследования, формирования практических исследовательских умений в предметной области. Такой электронный учебно-методический комплекс содержит теоретический материал, практические задания, тесты, дающие возможность осуществления самоконтроля, и т.п. Создание ЭУМК имеет особое значение, так как позволяет комплексно подходить к решению основных дидактических задач.

Анализ научно-педагогической литературы [3–5] показывает, что важное значение имеет логика проектирования электронного учебно-методического комплекса. Можно выделить следующие этапы разработки ЭУМК:

- разработка учебной программы по дисциплине, входящей в учебный план подготовки студентов по соответствующей специальности (направлению);
- разработка конспекта лекций, подготовка практических заданий, подготовки курсовых, зачетных и других работ;

- оформление документации учебно-методического комплекса;
- техническое обеспечение учебно-методического комплекса;
- апробация учебно-методического комплекса в учебном процессе;
- корректировка материалов учебно-методического комплекса.

В настоящее время существует множество вариантов структурирования электронных учебно-методических комплексов по конкретной дисциплине. Можно предложить следующую структуру ЭУМК по дисциплине «Учебно-исследовательская работа студентов».

1. Учебная программа дисциплины «Учебно-исследовательская работа студентов».
2. Методические рекомендации по изучению дисциплины «Учебно-исследовательская работа студентов», которые представляют собой комплекс рекомендаций и разъяснений, позволяющих студенту оптимальным образом организовать процесс изучения данной дисциплины. Содержание методических рекомендаций может включать:
  - советы по планированию и организации времени, необходимого на изучение дисциплины;
  - описание последовательности действий студента по изучению дисциплины;
  - рекомендации по использованию материалов учебно-методического комплекса;
  - рекомендации по работе с литературой;
  - советы по подготовке к экзамену (зачету);
  - разъяснения по поводу работы с тестовой системой курса, по выполнению домашних заданий.
3. Учебно-методические материалы, которые включают материалы лекции, практические задания, курсовые, зачетные и другие работы.
4. Словарь терминов и персоналий, который выступает в качестве вспомогательного средства. В таком словаре должны быть даны определения всех терминов, встречающихся при изучении дисциплины, в рамках предметной области. Термины могут привязываться к темам и (или) располагаться в алфавитном порядке.
5. Формы текущего, промежуточного, итогового контроля. В этом разделе целесообразно отразить следующие моменты:
  - примерные темы рефератов, эссе;
  - варианты контрольных работ, практические задания, проблемные задания, тесты (материалы представляют собой набор заданий, позволяющих определить освоение отдельных тем, разделов учебной программы);
  - контрольные вопросы по каждой теме и по всей дисциплине.
6. Выпускная квалификационная работа, где могут быть отражены:
  - тематика выпускных квалификационных работ;
  - методические указания по выполнению выпускной квалификационной работы, указания по работе с литературой, что позволит более глубоко изучить проблемные вопросы, рассматриваемые в выпускной квалификационной работе;
  - методика выполнения выпускной квалификационной работы, включающая описание исходных данных, порядок выполнения, методику анализа полученных результатов, порядок оформления пояснительной записки к выпускной квалификационной работе;
  - методические рекомендации для преподавателей, руководящих выпускной квалификационной работой, определяющие методику проведения занятий и консультаций, порядок защиты выпускной квалификационной работы.

Необходимо отметить, что последний раздел электронного учебно-методического комплекса целесообразен как раз при изучении дисциплины «Учебно-исследовательская работа студентов», так как подготовка выпускной квалификационной работы является одной из форм учебно-исследовательской деятельности работы

студентов. «Привязка» заданий дисциплины к тематикам выпускных квалификационных работ позволит, с одной стороны, активизировать деятельность студентов, а с другой – повысить качество самих выпускных квалификационных работ.

В заключение важно отметить, что функционально электронный учебно-методический комплекс:

1. выступает в качестве инструмента системно-методического обеспечения учебного процесса по отдельной дисциплине, его предварительного проектирования. В этом его главная функция;
2. объединяет в единое целое различные дидактические средства обучения, подчиняя их целям обучения и воспитания;
3. не только фиксирует, но и раскрывает требования к содержанию изучаемой дисциплины, к уровню подготовки специалистов, тем самым способствует его реализации;
4. служит накоплению новых знаний, новаторских идей и разработок, стимулирует развитие творческого потенциала преподавательского состава [2].

Таким образом, очевидно, что разработка (проектирование) состава и структуры электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Учебно-исследовательская работа студентов» имеет первостепенное значение при методическом сопровождении процесса формирования готовности выпускников вузов к профессиональной деятельности в рамках предметной области.

### Литература

1. Жук А.И., Макаров А.В. Учебно-методические комплексы (из опыта разработки): Методическое пособие. Мн.: БГУ, 2001.
2. Макаров А.В., Трофимова З.П., Вязовкин В.С., Гафарова Ю.Ю. Учебно-методический комплекс: модульная технология разработки: Учебно-методическое пособие Мн. РИВШ БГУ, 2001.
3. Демкин В.П., Можяева Г.В. Технологии дистанционного обучения. Томск, 2002.
4. Алтайцев А.М., Наумов В.В. Учебно-методический комплекс как модель организации учебных материалов и средств дистанционного обучения. / В кн.: Университетское образование: от эффективного преподавания к эффективному учению (Минск, 1-3 марта 2001 г.). Белорусский государственный университет. Центр проблем развития образования. Мн., Пропилеи, 2002. С. 229—241.
5. Андреев А.А., Солдаткин В.И. Дистанционное обучение: сущность, технологии, организация. М.: Издательство МЭСИ, 1999.

# СТУДЕНЧЕСКОЕ САМОУПРАВЛЕНИЕ КАК ИННОВАЦИОННАЯ ФОРМА ВОСПИТАТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ В ВУЗЕ

С.С. Бутров, Н.Н. Горлушкина, И.С. Сорокина

В современных условиях объективно назрела необходимость в подготовке специалистов с опытом управленческой работы. Важнейшим фактором, положительно влияющим на самореализацию студенчества, повышение социальной активности и личностной заинтересованности учащейся молодежи, является проведение комплекса воспитательных мероприятий на основе развития студенческого самоуправления. Современное студенческое самоуправление, как указано в «Рекомендациях по развитию студенческого самоуправления в образовательных учреждениях высшего и среднего профессионального образования РФ» [1], может и должно стать условием реализации творческой активности и самодеятельности, реальной формой студенческой демократии и средством социально-правовой самозащиты студентов.

Студенческое самоуправление является элементом общей системы учебно-воспитательного процесса, позволяющим студентам участвовать в управлении университетом и организации своей жизнедеятельности в нем через коллегиальные органы самоуправления и различных уровней и направлений.

Воспитание личности в период обучения в вузе – важнейший этап социализации индивида, когда в основном завершается целенаправленное воспитательное воздействие на человека организуемой и регулируемой обществом системы воспитания. В то же время этот этап является и началом того периода в жизни личности, когда человек в целом завершает выработку своей жизненной позиции – отношения жизни как таковой и собственной жизни в этом мире, когда он берет на себя ответственность за совершаемый выбор и переходит к осознанному самовоспитанию. Этим диктуется необходимость системной постановки воспитательного процесса в вузе в органическом единстве с учебным процессом и научно-исследовательской подготовкой студентов. Взаимосвязь и взаимозависимость учебной, научной и воспитательной работы определяется целой совокупностью качеств, установок и ценностных ориентаций личности, определяющих профессиональную и социальную компетенцию специалиста.

- Профессиональные знания, умения и навыки сами по себе являются лишь инструментом, способным принести обществу и человечеству в целом как пользу, так и вред в зависимости от того, каковы нравственные качества профессионала.
- Затраты общества на подготовку специалистов могут оказаться невозвратными, если выпускаемые вузами специалисты не являются патриотами своей Родины и в определении жизненных приоритетов руководствуются сугубо меркантильными соображениями.
- В условиях перехода к методологическому образованию резко возрастает значение мировоззренческой зрелости специалиста, его способности мыслить стратегически, понимать основные тенденции в развитии собственной профессии и общества в целом.
- В условиях стремительного устаревания информации и перехода к парадигме «образования через всю жизнь» сам процесс обучения неизбежно индивидуализируется [2].

Таким образом, и студент, и дипломированный специалист постоянно оказываются перед необходимостью осознанного и ответственного выбора, что предполагает наличие незаурядных волевых качеств личности – целеустремленности, последовательности, способности самостоятельно принимать решения и готовности отвечать за их последствия.

Немаловажным является и проблема социально-психологического комфорта в студенческой среде. Будет ли студент овладевать знаниями с радостью и желанием и будет ли тем самым обеспечена высокая успеваемость, не в последнюю очередь зависит от того, как выстраиваются отношения внутри учебных коллективов, между студентами и преподавательским корпусом, между студенчеством и администрацией вуза. Только совокупное действие таких условий и средств воспитания, как создание благоприятной образовательной среды, влияние личности воспитателя и его деятельности, личностное и социально-ролевое общение, активная творческая деятельность студентов, соотношенная с особенностями их социально-возрастного периода развития, может дать положительный эффект [2].

Развитие личности будущего специалиста, создание условий для ее самореализации, как показывает опыт, не могут быть обеспечены в рамках только учебного процесса. Поэтому воспитательный процесс всегда складывается из двух основных составляющих: учебно-воспитательной и внеучебной.

Под внеучебной деятельностью студентов понимается такая их деятельность, в которую они включаются по собственному желанию во время, свободное от выполнения основной образовательной программы. При участии во внеучебных мероприятиях студенты имеют возможность реализовывать и развивать свои таланты, расширять круг общения, делать свой досуг разнообразным, интересным и полезным для своего общего развития и будущего профессионального роста.

К целям внеучебных мероприятий относятся активизация учебного процесса (усиление интереса к предмету, углубление знаний, осуществление связи теории с практикой) и процесса воспитания (приобщение к творчеству, формирование активной жизненной позиции, самоутверждение личности). Для достижения этих целей необходимо в вузе организовать соответствующую воспитательную среду. [3]

В качестве составляющей воспитательной среды на естественнонаучном факультете Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики можно рассматривать студенческую кафедру. Студенческая кафедра была создана в 1997 году. Задачей преподавателей, научных руководителей кафедры было раскрытие перед студентами широкого поля выбора, которого им в силу их ограниченного жизненного опыта, недостатка знаний было трудно осознать самостоятельно [4].

В настоящее время обучаемый должен уметь самостоятельно включать в систему своей деятельности нарастающий поток информации, причем не только собственно профессиональной, но и прямо не связанной с профессией, а полезной для общего интеллектуального развития или просто интересной. Очевидно, что всю информацию такого рода ни один учебный план охватить не может. Поэтому очень важным является развитие самостоятельности и творческих способностей студентов.

Для повышения самостоятельной учебной деятельности студентов их необходимо научить взаимодействовать с динамично развивающимся миром; вырабатывать такие способности, как работа в группе, рефлексия, саморазвитие и самостоятельное повышение квалификации. Развитие личности будущего специалиста, а также его профессиональной самостоятельной творческой деятельности возможно представить поэтапно следующей схемой: самопознание → самопрогнозирование → самоуправление → самообразование → самовоспитание → самоконтроль → самореализация → самосовершенствование → навык самостоятельной творческой деятельности.

Представленная цепочка развития самостоятельной творческой личности как нельзя лучше была реализована благодаря деятельности студенческой кафедры, которая стала центром формирования общественного мнения, превращения знаний в убеждения, а убеждений – в правила и нормы поведения. Это не только место для развития научной и творческой самостоятельности, но и лаборатория высшей школы, которая призвана помогать политическому, нравственному и эстетическому воспитанию студентов.

Деятельность студенческой кафедры началась с участия в мероприятиях по автоматизированной обработке тестирования первокурсников и созданию межкафедра́льного компьютерного класса, а также с работы в редакционно-издательском отделе университета. Со временем деятельность стала расширяться. Возникающие новые проблемы требовали привлечения к их разрешению все новых сотрудников студенческой кафедры. Все меньше и меньше требовалось вмешательства в ее деятельность преподавателей как руководителей, чем дальше развивалась студенческая кафедра, тем самостоятельнее в своих делах становились и студенты. И студенческую кафедру в настоящее время можно рассматривать как форму студенческого самоуправления.

Студенческое самоуправление – это особая форма самостоятельной общественной деятельности студентов, предполагающая активное участие студентов в подготовке, принятии и реализации управленческих решений, касающихся жизнедеятельности учебного заведения или его отдельных подразделений, защите прав и интересов обучающихся, включение студентов в различные виды социально значимой деятельности. [1].

В деятельности студенческой кафедры реализовываются функции:

- обучающая – преподавание дисциплин, связанных с компьютерной грамотностью;
- научно-исследовательская – научная работа по тематике кафедр факультета и, как итог ее, проведение научно-практических конференций;
- культурно-развлекательная – проведение вечеров отдыха для студентов факультета; хозяйственная – дежурства по аудиторной зоне, уборка, ремонтные работы. [4]

Среди функций особой воспитательной силой должна обладать организационно-методическая функция, которая в деятельности студенческой кафедры должна стать самой главной. Если говорить о воспитательной среде, то ее главенствующей идеей должна быть идея влияния студентов на учебный процесс. Говоря о самоуправлении, о демократизации отношений преподавателей и студентов, о сотворчестве, сотрудничестве преподаватели достаточно часто забывают об этой демократии.

У каждого студента – сотрудника кафедры определено направление деятельности, функционирование которого он обеспечивает. Участие в работе студенческой кафедры позволяет получить навыки преподавательского мастерства, консультирования – сначала неуспевающих студентов, позднее профессионального, организации коллективной творческой деятельности, проведения научно-практических конференций. Деятельность студенческой кафедры развивает в студентах самостоятельность, позволяет почувствовать и оценить свои возможности, создает условия для самоуправления студентов. Важным является и тот факт, что в работе студенческой кафедры студент может попробовать свои силы в разных деловых ролях и, оценив свои возможности, выбрать направление своей будущей профессиональной деятельности.

Одной из главных задач студенческой кафедры является организация внеаудиторной деятельности студентов таким образом, чтобы каждый ощущал сопричастность к результатам работы коллектива и мог попробовать себя в различных социальных ролях и ситуациях. Одной из основных целей ее создания является обеспечение рабочих мест студентам для проведения практик, в особенности технологической и педагогической, раскрытие перед студентами широкого поля выбора деятельности в области профессионально-педагогического образования в дальнейшем.

Для реализации этих целей на естественнонаучном факультете был создан Союз кураторов – еще одна форма студенческого самоуправления. Главная задача Союза – ускорить и упростить процесс адаптации студентов первого курса. В Союз вошли кураторы групп, ответственные по работе с иногородними студентами, и старший куратор – все студенты четвертого курса факультета. Предварительно в апреле-мае кураторы прошли обучение в Школе кураторов и психологический тренинг. Деятельность Союза началась с составления плана работы с первым курсом на 2005/2006 учебный год, кото-

рый формировался исходя из поставленных перед Союзом кураторов задач и был согласован с заведующими кафедр, принимающих первокурсников.

В Союзе кураторов четко разграничены обязанности между его членами. Старший куратор направляет и контролирует деятельность остальных кураторов. При необходимости быстрого сбора первокурсников или своевременного получения студентами и от студентов интересующей информации администрация факультета связывается со старшим куратором, тот, в свою очередь, с кураторами групп, которые дальше работают со студентами. Обратная связь происходит по тому же принципу, хотя в случае необходимости никто не запрещает первокурсникам обращаться самостоятельно по инстанциям, но, как показывает практика, первокурснику легче подойти с вопросом к близкому по возрасту старшему товарищу и попросить помощи, которая своевременно оказывается ему [3].

В отличие от педагогической практики, преподавательская деятельность членов студенческой кафедры начинается с младших курсов в форме деловой игры. При этом они выполняют функции помощников студентам старших курсов, вырабатывают стиль жизни преподавателя, учатся общению с другими людьми. Весьма важно то, что практически в любой момент рядом с каждым студентом находится опытный преподаватель. Он выступает не только как руководитель, но и как советчик, партнер по совместной деятельности.

Особое место в работе студенческой кафедры занимают научно-практические конференции. Обычно они проводятся как научные форумы студентов и аспирантов естественнонаучного факультета, но в них достаточно часто принимают участие студенты и аспиранты других факультетов. В последние годы они превратились уже в межвузовские, что, естественно, способствует поднятию их престижа и эффективности. В результате деятельности студенческой кафедры проведены восемь научно-практических конференций, опубликованы пять сборников докладов.

Принципиально важно, что организация и проведение подобных научно-практических конференций реализуются исключительно по инициативе и силами самих студентов – сотрудников студенческой кафедры.

Понятно, что деятельность студенческой кафедры должна быть разнообразной, направленной на все сферы развития специалиста, и поэтому вечера отдыха, как и организация досуга студентов в целом, в деятельности студенческой кафедры занимают не последнее место. Проведено четыре факультетских вечера, причем их тематика не повторялась, а сценарии составлялись самими студентами.

Студенческие вечера предоставляют участникам не только отдых и развлечение, поскольку при его подготовке необходимо обеспечивать формирование должного отношения студентов к университету, друг другу, а также закреплять и развивать традиции вуза. Подготовленный и проведенный вечер «Нам верность Отчизне жить помогает» – яркое этому доказательство. В игровой форме студенты первого курса познакомились с символикой университета, города, страны.

Студенческие вечера, организуемые студенческой кафедрой, готовят студентов к самостоятельной общественной деятельности, так как воспитательная работа ведется в двух направлениях – как с участниками вечеров, так и с их непосредственными организаторами. Первое направление понятно – любой человек, придя на вечер, получает культурно-творческий заряд. Вечер в клубе «Посвящение в студенты» стал для первокурсников событием их студенческой жизни. Была подготовлена программа торжественного посвящения в студенты, чтобы сплотить первокурсников и пробудить в них гордость за свой факультет, свой вуз. Началось с официального поздравления студентов администрацией факультета. Затем первокурсники должны были проявить себя в «испытаниях», устроенных Союзом кураторов. Когда первокурсники доказали, что они готовы быть студентами факультета, наступило время клятвы на импровизированной зачетке.

Суть второго направления – в том, что в подготовку каждого мероприятия вовлекается как можно большее число студентов. За каждый вечер отвечают выбранные представители от разных групп. В подготовку вечеров активно включаются студенты: они участвуют в разработке сценария, готовят отдельные элементы торжественной части, предлагают номера художественной самодеятельности, обеспечивают порядок на вечере, при необходимости организуют игры и конкурсы со зрителями. Студенческая кафедра подготовила весь цикл мероприятий, посвященных десятилетию естественно-научного факультета. Они включали проведение торжественного вечера факультета, научно-практической конференции студентов и аспирантов, спецвыпуск газеты университета, проектирование и изготовление памятных значков и т.п.

Таким образом, подготовка вечеров является для студентов своеобразной школой художественного, нравственного и творческого воспитания.

Интересной и полезной формой внеучебной работы являются студенческие поездки. Подобная деятельность – это не только возможность увидеть новые места. Во время путешествий складывается свой коллектив со своеобразной внутренней деятельностью, распределением обязанностей и отношениями, а поскольку походные впечатления довольно яркие, отношения и опыт их построения сильнее запечатлеваются на уровне психики. Обычно такие поездки преследуют несколько целей, включающих, кроме непосредственно культурно-просветительской деятельности, психологическую возможность сближения коллектива и, как следствие, большую открытость в выражении эмоций и творческих способностей членов группы; способствуют приобретению навыка открыто и интересно раскрывать другим людям свой внутренний мир, вырабатывают навык творческого подхода к публичному выступлению. Ярким примером такой поездки была игра «Зарница», проведенная студентами пятого курса для студентов первого курса.

Участие в деятельности студенческой кафедры воспитывает в студентах такие качества, как творчество, самостоятельность, способность быстро принимать решения, формировать адекватную ответную реакцию в общении с другими людьми, выступать перед аудиторией. При этом в обстановке непринужденности, свободы, эмоционального подъема, характерных для подобной деятельности, у студентов формируются ценностные ориентации. Это позволяет студентам почувствовать и оценить свои возможности, создает условия для самоуправления студенческих коллективов и воспитывает в них профессиональные качества.

## Литература

1. Информация о развитии студенческого самоуправления в образовательных учреждениях высшего и среднего профессионального образования РФ. // Официальные документы в образовании. 2002. № 30. С. 72–77.
2. Концепция воспитания студентов вузов РФ: Методическое пособие / Под ред. В.Т. Лисовского. СПб: Изд-во СПбГУ, 1999. 92 с.
3. Горлушкина Н.Н. Воспитательная составляющая профессионально-педагогического образования и новые формы ее реализации. / Информационные технологии в профессиональном и профессионально-педагогическом образовании. Межвузовский сборник научно-методических статей. Под ред. проф. М.И. Потеева. СПб: СПбГУИТМО, 2003. С.21–28.
4. Потеев М.И., Горлушкина Н.Н. Студенческая кафедра как новая форма воспитания будущих педагогов профессионального обучения. / Проблемы воспитания студенческой молодежи в современных условиях. Межвузовский сборник научно-методических статей. СПб, 2002. С. 145–150.

# ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ С ОРИЕНТАЦИЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ ВЫПУСКНИКОВ

Ю.О. Валитова, Н.Н. Горлушкина

В статье актуализируется проблема формирования профессиональной мобильности выпускников вузов, выделяются основные пути ее формирования и повышения, на основе которых даются рекомендации по организации самостоятельной работы студентов, позволяющие сформировать профессиональную мобильность выпускников.

В последнее десятилетие в высшем профессиональном образовании наблюдаются изменения, которые обусловлены быстро меняющимся рынком квалифицированных специалистов. Действующая в РФ система высшего образования не успевает за этими изменениями как по причинам финансового характера, так и из-за резко возросших материально-технических потребностей в обновлении базы и характера обучения. Вследствие этого «до 50 % выпускников учреждений профессионального образования всех уровней не могут найти работу по полученным профессиям и специальностям, либо многие из них вообще ее не находят» [1]. Из приведенных выше высказываний можно сделать вывод, что выпуск из профессиональных учебных заведений специалистов, способных к активной адаптации на рынке труда, остается приоритетным направлением развития современного образования.

Активная социальная адаптация и трудоустройство молодежи раньше решались через взаимодействие системы профессионального образования, обеспечивающей готовность молодежи осуществлять профессиональную деятельность, и государственных органов, определяющих потребности народного хозяйства в молодых специалистах. В период реформ отраслевые связи были разрушены, а механизм, отвечающий современным требованиям ситуации и обеспечивающий оптимальное взаимодействие системы профессионального образования с народным хозяйством, на сегодняшний день отсутствует. Сейчас система профессионального образования России проходит трудную адаптацию к требованиям рынка труда, что, в свою очередь, объясняется противоречием между рынками труда и образовательных услуг, так как рынок труда формирует требования работодателей, а рынок образовательных услуг – требования абитуриентов, в результате чего рынок труда получает большое количество специалистов, не востребованных им. Результатом этих изменений явилось резкое увеличение количество безработных, почти полное разрушение существовавших между образовательными учреждениями и предприятиями учебно-производственных связей, а также системы трудоустройства молодых специалистов.

В сложившейся ситуации система профессионального образования призвана найти способы преодоления кризиса, осуществить профессиональную адаптацию молодежи к новым жизненным условиям, повысить их профессиональную мобильность и уверенность на рынке труда.

Отметим, что под профессиональной мобильностью понимают способность и готовность личности достаточно быстро и успешно овладевать новой техникой и технологией, приобретать недостающие знания и умения, обеспечивающие эффективность новой профессиональной деятельности [2].

Профессиональная мобильность не является врожденным качеством, а формируется в процессе получения жизненного опыта, воспитания, обучения, профессиональной деятельности. Наиболее эффективно это качество формируется в процессе обучения в высшей школе.

В процессе исследования нами был изучен феномен профессиональной мобильности и проанализированы исследования, посвященные проблеме ее формирования. Ре-

зультаты исследования позволили выделить возможные пути формирования и повышения профессиональной мобильности, которые подготавливают молодого специалиста к взаимодействиям с рынком труда, такие как:

- направленность самостоятельной работы на воспитание личностных качеств;
- использование новых форм самостоятельной работы;
- организация профориентационной работы с использованием активных методов;
- обучение способу и методам поиска работы;
- дополнительное профессиональное образование.

Необходимо отметить, что все перечисленные выше пути нельзя реализовать без грамотной организации самостоятельной работы студентов. Акцент на самостоятельную работу студентов делается в связи с введением новых государственных образовательных стандартов, в которых значительная часть работы по освоению учебного материала переносится на внеаудиторные занятия студентов. При этом содержание и объем программ практически не претерпели существенных изменений, что диктуется как современными состоянием и тенденциями развития науки, так и методическими соображениями. Несоответствие между объемом знаний, которые должен усвоить студент, и отводимым на эту работу временем заставляет преподавателей искать такие методы работы, которые позволили бы избежать намечающегося снижения качества подготовки квалифицированных специалистов.

Опишем причины выделения перечисленных путей и отметим рекомендации по их использованию в образовательном процессе, особенно в самостоятельной работе студентов.

**1. Воспитание личностных качеств.** В настоящее время предприятия и организации самостоятельно определяют свою кадровую политику, что сопровождается, с одной стороны, общим сокращением численности работающих, а с другой - более высокими требованиями к вновь принимаемым на работу. В большинстве случаев предпочтение отдается специалистам с трудовым стажем и опытом работы. В результате этого «самой уязвимой группой на рынке труда является молодежь 18-24 лет. Завершая или завершив профессиональное обучение, она не имеет достаточного профессионального и социального опыта, менее конкурентоспособна» [3].

По результатам анкетирования потенциальных работодателей было выявлено, что в настоящий момент прием на работу осложняется еще и тем количеством обязанностей, которые должен выполнять работник. Большинство руководителей считают, что навыкам любого труда со временем можно научиться, и поэтому при приеме на работу востребованным остается такое качество работника, как умение организовать свой труд, чем обладает только небольшое количество студентов, в основном это те, кто совмещает работу с обучением.

В этой связи необходимо отметить, что успех профессиональной деятельности выпускников высших учебных заведений в условиях рыночной экономики обеспечивается основными компонентами структуры личности, востребованной на рынке труда, к которым относятся:

- интеллектуальный потенциал;
- высокая профессиональная мотивация;
- прогностические, организаторские, проектировочные и исследовательские навыки;
- социальная адаптивность к изменениям внешней социально-экономической среды;
- готовность к профессиональной деятельности, умение вести социальный диалог и обеспечивать социальное партнерство [4].

Анализ выделенных компонентов структуры личности позволяют утверждать, что в современных условиях на рынке труда способность обучаться становится важнее способности трудиться. Следовательно, учебный процесс необходимо выстраивать таким

образом, чтобы целенаправленно формировать перечисленные выше личностные качества. Важное значение в формировании этих качеств имеют знания об окружающем мире и себе самом, которые дают большую уверенность в собственных силах, способности самообразования. Более глубокое изучение психологии, философии с хорошей технической базовой подготовкой дают шанс на профессиональную мобильность, что подтверждают данные большого количества исследований [5]. Наиболее эффективно это можно сделать в процессе реализации новых форм самостоятельной работы – например, работы с электронными учебно-методическими комплексами дисциплины, дистанционного обучения, подготовки к нетрадиционным формам проведения лекций.

**2. Новые формы самостоятельной работы.** Старые формы (написание конспектов, написание рефератов, подготовка к экзаменам и зачетам и т.п.) менее эффективно формируют качества, востребованные работодателями в настоящее время, по причине того, что они не предполагают обязательной социальной активности личности, ее творческого подхода, нацеленности на конечный результат. Вне ценностной подпитки социально-профессиональная мобильность превращается в сумму бесконечных и часто неоправданных действий. Одним из путей формирования профессиональной мобильности будущего специалиста является организация самостоятельного обучения. Оно может осуществляться через новые формы самостоятельной работы в следующих направлениях:

- во-первых, через повышение уровня образованности студента (дополнительная подготовка и специализация в различных областях);
- во-вторых, усилением исследовательской составляющей теоретической подготовки студентов;
- в-третьих, усилением психолого-педагогического компонента, что позволяет развивать у студентов способность быстрого реагирования на происходящие изменения в социуме, в науке и практике; помогает овладеть критериями оценки социальных и природных явлений, феноменов культуры, а также способами добывания и интерпретации научной информации, ее обработки и хранения; учит умению видеть целостный образовательный процесс.

Эти формы должны основываться на положениях, которые позволяют студенту проявлять себя в различных формах творческой деятельности – в механизме организации и прохождения практики, в обучении студентов умениям психолого-педагогического наблюдения и анализа, на основе которого и строится вся самостоятельная работа студента. Они направлены на то, чтобы научить методически грамотно планировать свою деятельность, проводить ее самоконтроль.

**3. Организация профориентационной работы.** Под профориентационной работой мы понимаем введение в профессиональную деятельность будущего специалиста. Обучение профессиональной деятельности и степень готовности молодого специалиста к работе следует рассматривать в связи с жизненными планами, социальными ориентациями, позициями личности, что, в свою очередь, позволит решить вопрос о качестве обучения студентов, качестве производственной деятельности молодых специалистов. В целях снижения адаптационного периода следует определить факторы успеха профессиональной деятельности студента, слагаемые его профессионализма в условиях рынка труда еще во время обучения.

Эффективное педагогическое руководство самостоятельной и научно-исследовательской деятельностью студентов формирует у них высокий уровень интеллектуальной активности, развивает творческое мышление. Система индивидуальных и лабораторных занятий, факультативных курсов, проблемных семинаров, профессиональных проб, качественно новый подход к контролю учебно-познавательной деятельности являются одной из основ формирования современного молодого человека, ориентируемого на соответствующий мотивированный выбор профессии. Необходимость

ориентации системы обучения на индивидуально-творческое развитие личности студента является средством формирования его профессионального самоопределения.

Целенаправленная помощь молодому человеку в обоснованном выборе будущей профессии обеспечивается содержанием образования, формами и методами обучения, что ориентирует личность на развитие творческого потенциала, выбор профессии.

**4. Обучение способам и методам поиска работы.** Для подготовки выпускников к профессиональной жизни необходимо обучать их способу и методам поиска работы. Данное утверждение поддерживает В. Карезин, который в своем интервью журналу «Управление персоналом» утверждает, что «выпускники слабо представляют обстановку на рынке труда... они не умеют себя продавать...» [6].

В качестве примера такой работы можно привести деятельность кафедры технологий профессионального обучения СПбГУ ИТМО. Результаты этой работы обобщены в выпускной квалификационной работе И.С. Кукушкиной на тему «Web-сайт по технологии трудоустройства и его использование в воспитательной работе со студентами специальности "Профессиональное обучение"».

**5. Дополнительное профессиональное образование.** Дополнительное образование, дополнительные образовательные программы и дополнительные образовательные услуги реализуются в целях всестороннего удовлетворения образовательных потребностей граждан, общества, государства. В пределах каждого уровня профессионального образования основной задачей дополнительного образования является непрерывное повышение квалификации рабочего, служащего, специалиста в связи с постоянным совершенствованием образовательных стандартов. К дополнительным образовательным программам относятся образовательные программы различной направленности, реализуемые в образовательных учреждениях профессионального образования за пределами определяющих их статус основных образовательных программ; в образовательных учреждениях дополнительного образования; посредством индивидуальной педагогической деятельности.

Дополнительное профессиональное образование повышает профессиональную мобильность специалистов путем непрерывного процесса переподготовки и получения более престижной в текущий момент специальности.

Таким образом, воспитание социальной активности, целенаправленная профориентационная работа, дополнительное образование расширяют спектр возможных сфер деятельности выпускника. Задача современной высшей школы состоит не в том, чтобы дать профессию одну и на всю жизнь, а в том, чтобы обеспечить условия для профессионального самоопределения личности на всех этапах ее жизненного и профессионального пути. Как уже утверждалось ранее, это невозможно без грамотной организации самостоятельной работы.

В заключение необходимо выделить следующие рекомендации по организации самостоятельной работы студентов с ориентацией на формирование профессиональной мобильности выпускников.

1. Учебный процесс необходимо выстраивать таким образом, чтобы целенаправленно формировать перечисленные выше компоненты структуры личности. Наиболее эффективно это можно сделать в процессе реализации новых форм самостоятельной работы.

2. Новые формы самостоятельной работы должны основываться на положениях, которые позволяют студенту проявлять себя в различных формах творческой деятельности, научиться методически грамотно планировать свою деятельность, проводить ее самоконтроль.

3. Профориентационная работа должна быть целенаправленной и ориентированной на формирование высокой профессиональной мотивации и осознанного выбора будущей профессиональной деятельности.

4. Для подготовки выпускников к профессиональной жизни необходимо их обучать способу и методам поиска работы.

5. Дополнительное профессиональное образование повышает профессиональную мобильность специалистов путем непрерывного процесса переподготовки и получения более престижной в текущий момент специальности.

Результатом организации самостоятельной работы студентов в соответствии с этими рекомендациями должна стать высокая профессиональная мобильность выпускников на рынке труда, что является одним из приоритетных направлений развития современной системы образования.

### Литература

1. Гривцев Г.С., Смирнов И.П. Формирование регионального заказа на подготовку кадров. М.: Издательский центр Академии профессионального образования, 2002. 112 с.
2. Профессиональная педагогика. Учебник для студентов, обучающихся по педагогическим специальностям и направлениям. М.: Ассоциация «Профессиональное образование», 1997. 512 с..
3. Боликова Л.Ю. Современные проблемы и задачи профессиональной ориентации //Актуальные проблемы современной педагогики. Межвузовский сборник научных трудов . Пенза, 2001. 110 с. С. 43–45.
4. Валитова Ю.О. Организационно-методические условия повышения конкурентоспособности выпускников педагогических университетов по направлению «Технологическое образование» / Автореф. дис. на соискание степени к. пед. н. СПб, 2005. 19 с.
5. Шевченко Д.А. Две стороны рынка труда и образования. // Комсомольская правда. 2003. №120-п (23065-п).
6. Карезин В. Самый главный экзамен. // Управление персоналом. 2000. №5. С. 40–42.

# ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

С.М. Вергезова

В статье рассматриваются структура и особенности электронных учебно-методических комплексов, результаты их использования на практике, перспективы их применения в традиционном и дистанционном обучении, а также в системе открытого образования.

Одним из важнейших условий обеспечения качества образования считается наличие для каждой учебной дисциплины учебно-методических комплексов (УМК) [1].

Рассмотрим состав типового УМК. Последние, в зависимости от носителей информации, делятся на бумажные и электронные. Отметим особенности электронных учебно-методических комплексов (ЭУМК). Охарактеризуем перспективы использования ЭУМК. В качестве примера опишем созданный при участии автора статьи ЭУМК по дисциплине «Концепции современного естествознания» и проанализируем результаты его использования на практике.

Типовой УМК включает следующие основные составляющие [2]:

- учебная программа дисциплины,
- учебник,
- учебные пособия,
- учебно-методические пособия,
- руководство для самостоятельного изучения дисциплины,
- руководство по методике преподавания,
- диагностические материалы,
- банк тестовых заданий для промежуточной и итоговой аттестации,
- демонстрационные материалы к дисциплине,
- описание лабораторных практикумов,
- листы опорных сигналов,
- список рекомендуемой литературы,
- хрестоматия.

В частности, руководство по изучению дисциплины включает в себя:

- рабочую программу дисциплины,
- описание целей и задач дисциплины,
- методические рекомендации по изучению дисциплины,
- глоссарий,
- словарь иностранных слов,
- именной и предметный указатели.

Диагностические материалы содержат:

- перечень тем рефератов, курсовых работ, сочинений и т.п.;
- описание форм контроля;
- вопросы промежуточного и итогового контроля по дисциплине.

Банк тестовых заданий содержит тесты, а демонстрационные материалы к дисциплине – иллюстрации, схемы, таблицы, графики, различные раздаточные материалы. В практикум входят описания лабораторных и практических работ. Хрестоматия включает отрывки из трудов и высказывания основоположников соответствующей отрасли наук, их биографии. В нее могут быть также включены стихотворения, связанные с дисциплиной, по которой формируется ЭУМК. Список рекомендованной литературы содержит не только библиографические описания соответствующих учебников и пособий, но и Интернет-ресурсы с аннотациями.

Одним из основных достоинств ЭУМК, по сравнению с бумажными УМК, является возможность организации взаимосвязанных гиперссылок между компонентами комплекса и реализации оперативных переходов по этим ссылкам. Например, из рабочей программы дисциплины могут быть гиперссылки в соответствующие параграфы учебника, в которых подробно раскрывается та или иная тема. В свою очередь, из учебника возможны переходы в глоссарий, словарь иностранных слов, именной и предметный указатели, список рекомендованной литературы, конспект лекций, хрестоматию, тесты и т.д.

Глоссарий включает в себя термины, расположенные в алфавитном порядке, их краткие определения и ссылки на параграфы учебника, в котором подробно раскрываются их значение. Словарь иностранных слов включает перевод слов, расположенных в алфавитном порядке, их краткие определения и ссылки на параграфы учебника, в котором впервые встречается это слово. Именной и предметный указатели содержат гиперссылки с фамилий и ключевых слов на соответствующие параграфы учебника.

Список рекомендованной литературы содержит не только библиографические описания соответствующих учебников и пособий, но и Интернет-ресурсы с описанием содержимого каждого сайта по каждому разделу.

Краткий мультимедийный конспект лекций содержит набор лекций в виде презентаций Microsoft PowerPoint, а также учебные и демонстрационные клипы, графику, анимацию (демонстрации различных процессов и явлений), интерактивную flash-анимацию.

Хрестоматия включает отрывки из трудов и высказывания основоположников соответствующей отрасли наук, их биографии и т.п.

Варианты тестов по дисциплине сопровождаются гиперссылками на параграфы учебника, в которых затронута тема теста. Гиперссылки реализуются, как правило, с использованием технологии HTML.

Для исследования перспектив использования электронных учебно-методических комплексов при участии автора разработан ЭУМК дисциплины «Концепции современного естествознания». В него вошли следующие компоненты:

- блок нормативных документов,
- руководство по изучению дисциплины,
- содержание учебной дисциплины,
- инструкции пользователю,
- тесты,
- учетно-статистическая документация.

*Блок нормативных документов* содержит рабочую программу дисциплины и гиперссылки на параграфы учебника, в которых та или иная тема подробно раскрывается.

*Руководство по изучению дисциплины* включает в себя:

- цели и задачи дисциплины;
- методические рекомендации по изучению дисциплины;
- темы рефератов;
- описание форм контроля;
- вопросы итогового контроля;
- глоссарий;
- словарь иностранных слов;
- именной и предметный указатели;
- список рекомендованной литературы и Интернет-ресурсов;
- хрестоматию.

*Содержание учебной дисциплины* оформлено в виде гипертекстовых лекций (электронный учебник). В комплексе предусмотрен мультимедийный конспект лекций, оформленный с использованием презентаций Microsoft PowerPoint

Электронный учебник имеет разветвленную систему переходов, позволяющую реализовывать различные траектории обучения в зависимости от желаний и возможностей обучающегося, с учетом конкретных рабочих программ дисциплины.

*Инструкции пользователю* представляют собой информационные кадры о правилах прохождения обучающимися электронных учебно-методических материалов и о методике контроля успешности обучения.

В ЭУМК включена компьютерная *тестирующая программа*. Она содержит тесты двух видов – обучающие и контролирующие. Обучающие тесты содержат примеры типовых заданий по каждой теме. Неверные ответы сопровождаются комментариями, объяснениями правильных ответов или ссылкой на страницы электронного учебника, где изложена необходимая информация. Каждый из контролирующих тестов состоит из десяти заданий закрытого типа. Они охватывают все основные разделы учебника, общее число заданий превышает 350. В дальнейшем планируется расширить банк заданий и добавить задания других типов.

*Учетно-статистическая документация* (электронный журнал) хранится в базе и включает в себя данные о студентах, их пароли доступа, результаты выполнения ими тестов. Это позволяет преподавателю иметь оперативный доступ к базе данных оценок за тесты, знакомиться с подробностями ответов студентов, анализировать тенденции улучшения или ухудшения успеваемости, контролировать учебный процесс, принимая управленческие решения.

Структура ЭУМК предусматривает, что после проведения каждого цикла тестирования проводится статистическая обработка его результатов. Результаты обработки оперативно передаются преподавателям, руководству соответствующих факультетов, авторам компьютерных тестов, используются для определения успешности освоения студентами конкретных тем. По результатам статистической обработки оценивается и качество самих тестов, в частности, их надежность.

Разработанный ЭУМК реализован в программной оболочке Центра дистанционного обучения СПбГУ ИТМО. В ней за основу взяты концепция открытых стандартов и идея разделения содержания материала и формы его представления. В системе Центра имеется базовый набор учебных компонентов. К их числу относятся электронные конспекты, аттестующие и обучающие тесты, электронные практикумы, виртуальные лабораторные работы, информационные ресурсы. Из них составляется индивидуальный электронный учебно-методический комплекс по дисциплинам учебного плана. В качестве языка метаописания набора учебных объектов используются расширяемый язык разметки (extensible markup language, XML). Многоуровневая иерархическая структура электронного учебника реализована с помощью р а з м е т к и HTML.

В основу ЭУМК положен учебник [3]. В нем имеются четыре основных раздела: «Материя», «Земля и Солнечная система», «Живое вещество», «Управление и самоорганизация. Синергетика». В каждом разделе ЭУМК предусмотрены учебные и демонстрационные клипы, графика, анимация (демонстрации различных процессов и явлений), интерактивная flash-анимация.

ЭУМК дисциплины «Концепции современного естествознания» был опробован в течение трех лет, с 2003-го по 2006 год. В эксперименте участвовали студенты первого курса гуманитарного факультета СПбГУ ИТМО, направления 521600 – «Экономика», специальностей 061100 – «Менеджмент организации», 351400 – «Прикладная информатика в экономике», 060700 – «Национальная экономика». В первый год в эксперименте участвовали 220 чел., во второй и третий – по 100 чел.

Опыт показал, что использование ЭУМК имеет следующие перспективы.

В области **традиционного обучения** использование ЭУМК позволяет обучающимся:

- осваивать учебный материал в удобной и доступной для себя последовательности, но под управлением системы;
- обращаться к необходимым фрагментам учебной информации достаточно оперативно;
- самостоятельно контролировать успешность обучения с любой частотой в автоматизированном режиме;
- моделировать процессы и явления, проводить эксперименты в условиях виртуальной реальности (виртуальные лаборатории).

Для обучающего использование ЭУМК позволяет:

- предъявлять учебную информацию разнообразными средствами (тексты, рисунки, динамический видеоряд, звуковое сопровождение и т.д.);
- контролировать работу обучающихся, определять их ошибки, направлять их на правильное понимание соответствующей порции учебного материала;
- оперативно корректировать ход обучения;
- индивидуализировать и дифференцировать обучение;
- мотивировать обучение, используя разнообразные методические приемы.

В области **дистанционного обучения** ЭУМК составляет основу учебно-методического обеспечения системы дистанционного обучения [4]. Комплекс обеспечивает наполнение базы данных и базы знания системы ДО, самостоятельную работу с ним обучающихся, формирование и выдачу персональных заданий, обработку отчетов обучающихся, проверку успешности обучения в режиме самоконтроля, текущего контроля знаний обучающихся, итогового контроля.

Модульная структура ЭУМК и обязательный рубежный контроль знаний при переходе от одного модуля к другому позволяет реализовать базовые принципы дистанционного обучения:

- активности обучающихся в познавательной деятельности;
- систематичности применения получаемых знаний для решения конкретных практических задач;
- модульности построения учебного материала;
- систематичности контроля успешности обучения.

ЭУМК может использоваться для обучения и в **системе открытого образования** [5]. В этом случае ЭУМК можно размещать на образовательных порталах вузов и на сайтах виртуальных представительств, ведущих подготовку по конкретным специальностям и учебным дисциплинам.

## Литература

1. Глобализация и конвергенция образования: технологический аспект. Научное издание/ Под общ. ред. Ю.Б. Рубина. М.: ООО «Маркет ДС Корпорейшн», 2004. 540 с.
2. Ширшов Е.В. Педагогические условия проектирования электронных учебно-методических комплексов: Монография / Е. В. Ширшов, О. В. Чурбанова. Архангельск: Изд-во Архангельского ГТУ, 2005. 307 с.
3. Потеев М.И. Концепции современного естествознания / Учебник для студентов вузов. СПб: Питер, 1999. 350 с.
4. Средства дистанционного обучения. Методика, технология, инструментарий. / Агапонов С. В., Джалишвили З. О., Кречман Д. Л. и др./ Под ред. З. О. Джалишвили. СПб: БХВ-Петербург, 2003. 336 с.
5. Основы открытого образования / Андреев А.А., Каплан С.Л., Краснова Г.А. и др. Отв. ред. В. И. Солдаткин. В 2-х т. Т.1. М.: РГИОО, 2002. 676 с.

# ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА» И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

Н.Н. Горлушкина, Н.О. Гордеева

Анализируется опыт преподавания дисциплины «Педагогические программные средства». Сформулированы рекомендации по его совершенствованию и предложения корректировки существующей программы дисциплины.

Дисциплина «Педагогические программные средства» входит в цикл общепрофессиональных дисциплин образовательной программы специальности «Профессиональное обучение (информатика, вычислительная техника, компьютерные технологии)». Опишем и проанализируем опыт преподавания этой дисциплины в СПб ГУ ИТМО в течение трех лет. Отметим рекомендации по ее совершенствованию.

К дидактическим единицам дисциплины, согласно ГОС ВПО, относятся:

*Основные понятия: общее определение ППС, демонстрационные программы, контролирующие программы, обучающие программы, обучающие функции профессиональных программных средств, компьютерные учебные среды (миры), компьютерные имитаторы технологического оборудования, экспертно-обучающие системы, автоматизированные обучающие системы (АОС), авторские инструментальные среды (АИС), методы организации взаимодействия пользователей с ППС. Принципы разработки ППС: учет психофизиологических особенностей обучаемых и технических возможностей компьютера, приоритет стратегии обучения, психологическая и педагогическая эргономичность, функциональная полнота, мотивационная и активностная обеспеченность, универсальность применения и модульность построения. Технология разработки педагогического сценария ППС: определение целей использования ППС, анализ и отбор учебного материала, его структурирование и формализация, представление педагогического сценария. Управление учебно-познавательной деятельностью в ППС. Создания ППС на языках программирования. Автоматизированные обучающие системы: назначение и стандартные функции, инструментарий для разработки и эксплуатации, внедрение внешних данных. Специализированные авторские инструментальные среды (АИС): назначение и стандартные функции АИС, модули и инструменты АИС, импорт данных, использование объектно-ориентированных технологий. Интеграция информационных ресурсов для обучения: комбинирование дидактических средств, комплексное использование традиционных и программно-педагогических средств, ограничения на интеграцию. Практикум по программным педагогическим средствам.*

Изучение дисциплины основывается на знаниях, полученных при изучении следующих дисциплин: «Программирование», «Компьютерное моделирование», «Общая психология», «Общая и профессиональная педагогика». В свою очередь, она служит основой для педагогической практики. Она изучается в течение двух семестров и обеспечивает основу для подготовки студентами выпускных квалификационных работ.

Дисциплина «Педагогические программные средства» направлена на приобретение будущими педагогами профессионального обучения знаний, необходимых для создания грамотных информационных продуктов. Важность ее изучения заключается в возможности перехода на новый уровень преподавания, перехода от педагогических проповедей к проектированию оптимальных педагогических процессов, к индивидуализации образования.

Программа дисциплины реализуется в форме лекций, практических занятий, курсовой работы и самостоятельной работы студентов. Остановимся более подробно на комплексе практических работ дисциплины «Педагогические программные средства».

Изучение дисциплины рассчитано на два семестра. Практические занятия первого семестра включают в себя серию заданий по выполнению фрагментов педагогического программного средства, а второй отводится на выполнение курсовой работы – создание собственного программного продукта.

В первом семестре происходит изучение теоретического материала, знакомство с технологиями создания педагогических программных средств, а во втором – уже непосредственное применение полученных знаний для создания законченного программного продукта. Предпосылкой к созданию качественной курсовой работы является выполнение лабораторных работ, на каждой из которых необходимо выполнить задание – фрагмент будущей программы.

Первое занятие посвящено знакомству с педагогическими программными средствами, их классификацией, достоинствами и недостатками. На нем проводится демонстрация видов программ, а затем предлагается самостоятельно в среде Internet подобрать два-три примера педагогических программных средств и написать о них подробный отчет с выделением положительных и отрицательных качеств.

Второе практическое занятие отводится на разработку технического задания, по которому и будет выполняться вся последующая работа – поэтапное создание педагогического программного средства или его части (фрагмента).

Предполагается, что студент уже к этому моменту должен определиться с направлением своей выпускной квалификационной работы и, соответственно, выбрать необходимую тему и направление деятельности на этот семестр, т.е. начать разработку собственного программного продукта по мере изучения дисциплины. Так как создание любого программного средства начинается с написания технического задания, то именно с этого документа и начнут свою работу студенты. Определившись с направлением своей деятельности, на этом же занятии необходимо освоить принципы создания заглавной страницы или, другими словами, заставки: необходимо создать собственную заставку, с учетом психолого-педагогических особенностей предполагаемых пользователей и назначения программы, указанных в техническом задании.

Разработка собственного программного средства или его частей возможна с применением произвольной оболочки или среды, по желанию, но объяснение материала и демонстрации производятся при помощи Macromedia Flash и HTML-технологий. Macromedia Flash – это интегрированная среда разработки управляемых данными приложений, интерактивных презентаций и видеоматериалов, с использованием экранных форм и средств привязки к данным. Она имеет уникальные возможности для представления информации путем интеграции текстовых, графических, аудио- и видеоданных, обеспечивающие великолепные результаты при создании электронных учебных курсов и графических пользовательских интерфейсов. Также возможно создание графических интерфейсов с использованием большой библиотеки готовых компонентов.

Следующие два практических занятия посвящены изучению и созданию теоретической странички педагогического программного средства, с применением одной или нескольких особенностей web-документа: ссылки, переходы, наличие словаря, справки, интерактивного оглавления и так далее. Также изучается формирование теоретической страницы с помощью баз данных. На этих же занятиях дается задание подготовить список вопросов для создания блока контроля.

На пятом занятии изучаются способы организации блока контроля. Особое внимание уделяется видам тестов, что связано с возросшей популярностью этого способа контроля.

Шестое занятие отводится на создание анимационной модели (демонстрации, опыта), а седьмое – на соединение всех блоков в единую программу и отладку.

Грамотное дополнение фрагментов и обработка полученной заготовки могут существенно облегчить работу на практических занятиях дисциплины во втором семест-

ре. Так как задачей второго семестра является создание обучающей программы, то именно поэтому рекомендуется все задания первого семестра выполнять в одном ключе.

Тематика курсовой работы определяется студентом совместно с преподавателем, ведущим дисциплину, и отдается предпочтение той теме, результаты которой могут быть применены в педагогической практике или получить развитие в выпускной квалификационной работе.

Опыт показывает, что для совершенствования преподавания дисциплины «Педагогические программные средства» рекомендуется:

1) формировать в студентах в процессе преподавания дисциплины их творческое отношение к создаваемым ими учебным педагогическим программным средствам;

2) убеждать студентов в том, что дисциплина «Педагогические программные средства» является в определенном смысле центральной дисциплиной образовательной программы подготовки педагогов профессионального обучения в области информатики, вычислительной техники и компьютерных технологий;

3) студентам, приступая к изучению дисциплины, тщательно обдумывать тематику создаваемого в дальнейшем программного средства, возможно, посоветоваться с будущим руководителем, тем самым уже на четвертом курсе приступив к поэтапному созданию выпускной квалификационной работы.

Отметим, что для формирования творческого отношения студентов к создаваемым продуктам нужно стремиться к тому, чтобы эти средства были в дальнейшем необходимы и полезны [2]. Рекомендуется объяснить им, что дисциплина «Педагогические программные средства» направлена непосредственно на приобретение знаний, умений и навыков, необходимых студентам в их будущей профессионально-педагогической деятельности.

С целью корректировки программы дисциплины «Педагогические программные средства» рекомендуется:

- разработать комплекс практических работ с учетом изменившихся информационных технологий и различий в уровне информационной грамотности студентов;
- разработать новую компьютерную обучающую программу;
- создать новую программу дисциплины;
- написать новое методическое пособие.

Следует добавить, что актуальность этих рекомендаций особенно важна и для такой новой специальности, как «Информационные технологии в образовании». Образовательная программа этой специальности включает в себя схожие по содержанию дидактических единиц дисциплины. К их числу относятся: «Мультимедиа технологии в образовании», «Дистанционные технологии в образовании (КР)», «Мировые информационные образовательные ресурсы», «Психолого-педагогические основы проектирования информационных систем в образовании», «Проектирование информационных систем в образовании (КР)».

### **Литература**

1. Горлушкина Н.Н. Педагогические программные средства: Учебное пособие / Под ред. проф. М.И. Потеева. СПб ГИТМО (ТУ), 2002. 152 с.

# ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОВЕДЕНИЯ «ДНЯ КАРЬЕРЫ»

О.В. Зеленская, Н.Н. Горлушкина

Студенты и выпускники вуза не всегда имеют представление об условиях труда и возможных областях применения полученной ими специализации. Проведение мероприятий, направленных на ознакомление студентов и выпускников с требованиями современного рынка труда, может повысить личную способность адаптации к внешним условиям после окончания вуза.

В современной высшей школе сложилась практика проведения в вузах мероприятий, обозначаемых термином «День карьеры». В качестве примера можно привести «День карьеры химика» на химическом факультете Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, который проводится с 1998 года и является единственной в Москве ярмаркой вакансий для химиков. В Санкт-Петербурге Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена практикует проведение «Дней карьеры» на разных факультетах для студентов, обучающихся по разным направлениям. На каждом факультете существует индивидуальный подход к проведению таких мероприятий. В рамках этих мероприятий студентов знакомят с представителями предприятий города, на которых они могут работать по специальности, демонстрируются презентации фирм-работодателей. Перед ними выступают представители предприятий и рассказывают о деятельности предприятий, об условиях работы, о требованиях к молодым специалистам. Целью подобных мероприятий является ознакомление студентов с возможностью трудоустройства по своей специальности в престижные фирмы и собственно диалог с работодателями на предмет трудоустройства. О необходимости и целесообразности их проведения свидетельствуют результаты анкетирования студентов, опрос сотрудников Центров содействия трудоустройству других вузов. Однако эти мероприятия проводятся в форме, идентичной форме проведения ярмарок вакансий, о чем свидетельствуют результаты опроса сотрудников Центров содействия трудоустройству высших учебных заведений.

Трудоустройство выпускников – очень важная задача вуза, но удачное трудоустройство после его окончания не определяет их социальную мобильность в дальнейшем. Чтобы воспитать конкурентоспособного выпускника, возникает необходимость работать со студентами во время их обучения в высшем учебном заведении, причем на уровне выпускающей кафедры, деканата, отдела по внеучебной работе. Задачей вуза становится адаптация студента к самостоятельной профессиональной деятельности, подготовка к принятию самостоятельных решений, проявлению творческой инициативы, стремлению к постоянному саморазвитию и самосовершенствованию еще во время обучения в высшем учебном заведении[1].

Анализ научно-педагогической литературы показывает, что организационно-педагогические аспекты проведения такого мероприятия как «День карьеры» до сих пор не нашли должного освещения в научных публикациях.

Сформулируем организационно-методические аспекты проведения «Дня карьеры». Покажем, что диалог о построении карьеры может происходить не только при непосредственном участии представителей предприятий: есть необходимость более подробного освещения других аспектов трудоустройства.

Система профессионального образования в процессе обучения закладывает для молодого человека внешние параметры его профессионального развития. Это знания, которые он должен освоить, это определенные виды деятельности, которые в рамках учебной задачи моделируют отдельные элементы его будущей профессиональной деятельности. Однако система образования вообще и профессионального образования, в частности, представляет собой самостоятельно существующую пространственно-временную среду, которая на определенный период «выключает» человека из окружающего мира, чтобы вернуть его обратно

в новом качестве. В этом и кроется серьезная проблема будущего профессионального становления и развития молодого специалиста: будучи адаптирован в среде образовательного учреждения, он дезадаптирован и дезориентирован на рынке труда, где ему предстоит в будущем развиваться. В силу инертности своей природы система профессионального образования не успевает за научно-техническими изменениями в обществе. Кроме того, целый ряд специальностей и профессиональных квалификаций предоставляет выпускникам обобщенную модель профессиональной деятельности в определенной сфере, а не содержание реального труда на реальном рабочем месте. Это создает дезориентацию и дезадаптацию будущего специалиста на рынке труда. У него не сформирована компетентность ориентации и адаптации на рынке труда, которая позволяет самостоятельно определить наиболее благоприятную для него самую сферу деятельности и развития [2].

В рассматриваемом случае ставится задача создания модели социально-педагогической системы профессионального ориентирования, модели организационно-управленческого вида, позволяющей установить связи и отношения, возникающие на основе ведущих идей между субъектами, участвующими в процессе содействия трудоустройству и социальной адаптации студентов и выпускников профессионального образовательного учреждения. Целью проведения «Дня карьеры» в конкретном случае является ознакомление студентов выпускающей кафедры с реалиями рынка труда, уровнем зарплаты, условиями работы и требованиями работодателей, также возможно и непосредственное знакомство с потенциальными работодателями.

Не менее важными на таком мероприятии являются практические рекомендации по составлению резюме, знакомство с юридическими и психологическими аспектами процесса трудоустройства, информирование об организациях, оказывающих психологическую, юридическую и рекрутинговую поддержку молодым специалистам.

Студенты различных специальностей вузов, как технических, так и гуманитарных, недостаточно владеют основами психолого-педагогической культуры, не всегда способны оценить свои индивидуальные, личностные и индивидуальные качества и соотнести их с избранной профессиональной деятельностью. Процесс профессионального самоопределения, формирования мотивации к избранному виду деятельности и, соответственно, продвижения в обучении излишне затягивается, имеет трудности и противоречия. Все это значительно снижает эффективность профессиональной подготовки и вызывает потребность в инновационных технологиях [3].

Необходимо знакомить студентов с реальными достижениями молодых специалистов, окончивших учебное заведение ранее, что подразумевает диалог с выпускниками Университета, имеющими реальный опыт работы и трудоустройства, соответственно. Важно сформировать способность реально оценивать свои возможности.

Начиная разговор о построении карьеры, логично раскрыть понятие самого термина «карьер», происходящего от итальянского *carriera*, что означает бег, жизненный путь, поприще. В энциклопедическом словаре приведено три значения этого понятия:

- 1) продвижение в какой-либо сфере деятельности,
- 2) достижение известности, славы, выгоды,
- 3) обозначение рода занятий, профессии, например, карьера учителя.

Отталкиваясь от значения самого слова «карьер», естественно говорить не только о продвижении по карьерной лестнице, но и о самоопределении человека, обучающегося по той или иной специальности. С психологической точки зрения неправильно позиционировать всех студентов строго на карьерный рост, так как все руководителями быть не могут, и вполне возможно, что не имеют в этом необходимости. Но можно говорить о профессиональном росте. Это расширяет само понятие карьеры и дает более реалистичную картину возможностей приложения полученных знаний на практике.

Несомненно, серьезным мотивом для успешного обучения, а самое главное – желания учиться у студентов является возможность карьерного роста в перспективе. Та-

ким образом, поддерживать заинтересованность молодого специалиста в карьерном росте полезно. После окончания вуза и при поиске работы молодой специалист должен уметь трезво оценивать ситуацию, понимать, что продвижение в трудовой деятельности состоит из множества поступательных маленьких шагов. Поэтому основная задача проведения «Дня карьеры» заключается в том, чтобы проинформировать студентов о службах, в которые он может обратиться при необходимости и получить помощь квалифицированных специалистов. Нужно показать студентам необходимость планирования своего будущего, чтобы выстроить примерный алгоритм своей дальнейшей деятельности. При этом имеет смысл говорить со студентами о планировании карьеры, управлении карьерой, а соответственно, и о формировании резюме как составляющей планирования карьеры и управления ею: сделать акцент на технологии составления резюме, познакомить студентов с требованиями к резюме, акцентировать внимание на типичных ошибках при его составлении. Целесообразно демонстрировать рабочие резюме, с помощью которых были приняты на работу выпускники университета.

Нельзя упускать из виду такой серьезный вопрос, как повышение квалификации, так как это неотъемлемая составляющая карьерного роста. Виды и формы профессиональной карьеры также должны быть освещены в ходе планируемого мероприятия. Также можно говорить о переподготовке как составляющей карьерного роста, дать общую информацию о видах и формах профессиональной подготовки. При разговоре о построении карьеры полезно упомянуть о самоанализе собственной карьеры и дать алгоритмы такого самоанализа. Конечно, большое значение имеет диагностика возможностей отдельно взятого индивидуума, и при организации мероприятия целесообразно предусмотреть возможность прохождения тестирования и оценки его результатов на месте. Учитывая, что многие фирмы занимаются разработкой программных продуктов, направленных именно на разработку подобных тестов, возможно со временем привлечение таких фирм на мероприятия, посвященные построению карьеры. Самое главное, что хотелось бы дать студентам, – это акмеологические подходы к построению карьеры. Сам принцип акмеологического подхода к той или иной сфере деятельности формирует в человеке осознание постоянного развития и самосовершенствования [4]. Владая таким универсальным средством, человек творчески подходит к любой деятельности и способен расти как профессионально, так и в плане карьеры, а самое главное – благополучно пройти период адаптации к любым новым или изменяющимся условиям не только рынка труда, но и жизни.

В качестве реализации планируется проведение мероприятия под названием «День карьеры» для студентов кафедры технологий профессионального обучения со 2-го по 5-й курс с добровольным участием выпускников 2004/2005 года выпуска. В связи с этим планируется провести анкетирование студентов кафедры с целью выявления наиболее актуальных тем. Разработан предварительный план проведения мероприятия. Чтобы учесть принципы организации «Дня карьеры», необходимо на это мероприятие пригласить специалистов, определив совместно с ними тематику их выступления, например:

Городской центр содействия занятости и профориентации молодежи «Вектор»:

- Критические периоды в профессиональном обучении.
- Начало трудовой деятельности – важный этап построения карьеры,
- Психологическая адаптация молодых специалистов на рынке труда.

Представителя редакции газеты «Профессия»:

- Экспертная оценка современного рынка труда и требования к соискателям

Кафедра культурологи СПб ГУ ИТМО:

- Практическая конфликтология.
  - Деловой этикет.
  - Презентация студенческих работ по культурологии
- Руководитель проекта «Обучение и карьера в СПб:

- О взгляде директора фирмы на молодых сотрудников: какими он их видит, что ценит, как поощряет, чем определяются перспективы карьерного роста в частных фирмах.

Выпускники СПб ГУ ИТМО:

- Презентация «Как писать резюме» с комментариями специалистов.
- Свободное общение.

В ходе мероприятия предполагается предоставить возможность задавать вопросы каждому докладчику после каждого выступления. Продолжительности мероприятия – 2,5–3 часа, из которых 1 час выделяется на свободное общение. В рамках мероприятия планируется возможность индивидуального общения с психологами и юристами, возможность проконсультироваться по интересующим вопросам.

Хотелось бы отметить, что данная программа проведения «Дня карьеры» является универсальной и в такой форме подходит для студентов, обучающихся по всем представленным Университетом специальностям. Это значительно сокращает трудозатраты на организацию и проведение мероприятия и позволяет проводить его на общеуниверситетском уровне.

На основании изученного материала, а также проведенного опроса можно выделить в качестве возможных мероприятий со стороны университета такие, как проведение ярмарок вакансий для всего университета, ярмарок вакансий для отдельных факультетов (например, для тех факультетов, где с трудоустройством по специальности после окончания сложнее), дней карьеры. Решать подобные задачи можно в рамках Центра содействия трудоустройству и социальной адаптации студентов и выпускников высших учебных заведений.

Организация и регулярное проведение подобных мероприятий будет способствовать обмену информацией между представителями производственных предприятий, поддержанию связи с выпускниками. Обратная связь поможет изучить проблемы, возникающие после окончания учебного заведения, и регулировать технологии адаптации выпускников на рынке труда. Как правило, студенты имеют завышенные требования к будущей работе, а мероприятие поможет им составить представление о реальных доходах и вакансиях на рынке труда, подготовит к поиску работы после окончания университета, значительно расширит представление о применении своей специальности.

Центр содействия трудоустройству может не только являться связующим звеном между внутренней образовательной средой университета и внешними организациями, но и принимать активное участие в формировании высокообразованной и социально мобильной части населения. Соответственно, Центр содействия трудоустройству и социальной адаптации косвенно принимает участие в формировании будущего общества и способен оказать реальное содействие адаптации выпускников вуза к постоянно изменяющимся экономическим условиям, обеспечить психологическую подготовку молодого специалиста к конкуренции на рынке труда.

## Литература

1. Митина Л.М. Психология развития конкурентоспособной личности. Москва-Воронеж, 2002. 400с.
2. Вербицкая Н.О., Митрофанов М.Э., Федоров В.А. Компетентность ориентации и адаптации на рынке труда: акмеологические основания исследования // Образование и наука. 2005. №5 (35).
3. Новикова Т.Г. Проектирование эксперимента в образовательных системах. М.: АПК-ПРО, 2002. 112 с.
4. Коршунова Н.Н. Акмеологический подход к разработке технологий профессионального обучения. // Образование и наука. 2005. №5 (35).

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ИТ-КОНСУЛЬТИРОВАНИИ

С.В. Кессель, М.И. Потеев

Описана и проанализирована возможность использования технологий дистанционного обучения в профессиональном ИТ-консультировании. Рассмотрен пример удаленного консультирования и обучения пользователей информационной системы «Scala» в офисе международной корпорации. Показано, что современные технологии дистанционного обучения позволяют значительно повысить эффективность ИТ-консультирования и снизить затраты на выполнение проекта.

В международной практике [1] под *профессиональным консультированием* понимают работу по контракту специалистов организации, называемой исполнителем, в организации, называемой заказчиком, по выявлению и анализу проблем, оказанию помощи в выработке рекомендаций по их решению, а также содействию в реализации этих рекомендаций. Специалистов, выполняющих работу подобного рода, называют *профессиональными консультантами*. Не отвечая за решение соответствующих задач, они помогают тем, кто ответственен за это. Целью консультирования является обеспечение сотрудников организации-заказчика знаниями и навыками, необходимыми им в повседневной профессиональной деятельности.

Примером областей, в которых выполняется профессиональное консультирование, являются управление организацией, бухгалтерский учет, использование информационных технологий (ИТ). Примером профессионального ИТ-консультирования является обучение, выполняемое при продаже программного обеспечения системы дистанционного обучения сотрудником организации-продавца сотрудникам организации-покупателя.

Одной из важнейших составляющих профессионального консультирования является обучение консультантом сотрудников заказчика [2]. Покажем возможность и эффективность использования в профессиональном ИТ-консультировании технологий дистанционного обучения. Актуальность поставленной задачи связана с широким применением профессионального консультирования в международной практике. В частности, достаточно часто встречаются ситуации, когда при профессиональном консультировании в международных корпорациях заказчик и исполнители расположены в разных городах и даже в разных странах. В этом случае специалисты исполнителя, как правило, выезжают к заказчику для проведения консультирования. Существенный недостаток такого подхода состоит в высоких финансовых затратах, связанных с оплатой переезда консультанта, его проживания, телефонных переговоров и т. п.

Но в настоящее время имеются достаточно развитые средства дистанционного обучения [3]. К их числу относятся: электронная почта, система обмена мгновенными сообщениями, IP-телефония, Remote Assistance, Terminal Services.

Опишем и проанализируем возможность использования подобных средств для дистанционного консультирования. В частности, *электронная почта* является в бизнесе стандартом де-факто. Она позволяет доводить информацию до сведения сотрудников удаленного офиса, а также оперативно связываться с консультантами компании-поставщика программного продукта. В некотором смысле она является аналогом «официальной переписки».

*Система обмена мгновенными сообщениями (icq)* позволяет обмениваться короткими текстовыми сообщениями в реальном режиме времени. Как правило, общение по icq подразумевает менее официальную обстановку, так как оно ближе к «разговору, чем электронная почта. Принципиальным преимуществом icq является то, что пользователь (обучаемый) в любой момент времени может вызвать консультанта на связь и обсудить с ним возникшие вопросы и проблемы.

*Голосовая ip-телефония* (например, системы Skype) может рассматриваться как полный аналог обычной проводной телефонии. Существенная разница заключается в том, что передача голосового трафика ведется без использования телефонных линий через Интернет. Без учета стоимости использования Интернета стоимость звонка равна нулю. IP-телефония существенно снижает затраты на международные телефонные переговоры.

Использование *Remote Assistance* позволяет видеть рабочий стол пользователя, а при необходимости переводить управление компьютером на консультанта. Это дает возможность проводить обучение пользователя так, как будто консультант находится за одним компьютером с обучаемым.

Технология *Terminal Services* позволяет получать доступ к бизнес-серверу и не предполагает собственно обучения пользователей. Технология может использоваться на начальных этапах внедрения для конфигурирования бизнес-сервера, развертки платформы информационной системы, а также настройки системы. При использовании Terminal Services появляется возможность получать доступ к удаленному серверу из любой точки земного шара с целью его администрирования. Terminal Services входит в набор стандартных сервисов операционной системы Windows Server (версии NT, 2000 и выше).

Как показывает опыт, использование отмеченных технологий позволяет:

- снизить затраты на внедрение информационной системы;
- повысить доступность консультантов;
- оперативно решать все возникшие проблемы;
- добиваться высокого уровня понимания пользователями работы системы.

Для проверки перспективности такого подхода был проведен эксперимент по удаленному консультированию при внедрении информационной системы «Scala» в одном из офисов международной корпорации.

«Scala» представляет собой компьютерную систему бухгалтерского учета и делового управления и является системой класса ERP. Она может использоваться практически в любых отделах компании: продаж, логистики, финансов и т. п. Принципиальная сложность проектов внедрения подобных систем связана, прежде всего, со сложностью внедряемого продукта. Последняя обуславливает невозможность обучения пользователей в короткие сроки, необходимость контролирования и поддержки пользователей на протяжении достаточно продолжительного промежутка времени.

В эксперименте в качестве заказчика выступало представительство корпорации в Румынии, расположенное в Бухаресте. Сотрудники компании-клиента являлись обучаемыми.

В качестве исполнителя выступали внутренние консультанты компании. Они располагались в Санкт-Петербургском офисе компании и являлись обучающими. При необходимости они выезжали в удаленный офис.

В качестве субподрядчика привлекались консультанты компании-поставщика программного продукта. Они, например, проводили тренинги обучаемых из бухгалтерского отдела на румынском языке, а также настраивали системы, связанные с особенностями румынского плана счетов.

Большая часть работ по внедрению системы проводилась силами внутренних консультантов. Это позволило существенно сократить сроки внедрения системы, заметно уменьшить стоимость проекта, учесть их опыт и их знания особенностей бизнеса компании, оперативно внедрить лучшие достижения других офисов корпорации.

Для минимизации финансовых и временных затрат использовался режим удаленной работы, без выезда в удаленный офис. Так как оба офиса (и удаленный, и основной) входили в единую компьютерную сеть корпорации, то это обеспечило безопасность и надежность связи через Интернет.

В течение первого этапа проекта была проведена настройка бизнес-сервера и установлено необходимое программное обеспечение. На следующем этапе была проведена подготовка данных для системы (номенклатура позиций, списки поставщиков и покупателей, начальные сальдо). На этом же этапе для разработки плана счетов были привлечены поставщики программного продукта (внешние консультанты).

На третьем этапе, после завершения конфигурирования, было проведено уточнение бизнес-процессов в компании. Это позволило отразить существующие процессы в системе и наметить пути их изменения. На этом этапе в удаленный офис выехал консультант и провел там начальные тренинги с пользователями системы.

Дальнейшее обучение проводилось удаленно, с использованием отмеченных выше информационных технологий. Это позволило полностью имитировать реальную работу, показать пользователям реальные проблемы и задачи, возникающие на практике. Обучение пользователей проводилось на реальных данных и заняло в общей сложности два месяца.

Обучение пользователей включало следующие этапы:

- предъявление вводной информации,
- демонстрация работы в системе,
- пробный ввод с использованием рабочей процедуры,
- демонстрация результатов операций в системе,
- самостоятельная работа,
- диагностика успешности обучения.

На этапе *предъявления* вводной информации обучения пользователю давался обзор возможностей системы, описывались ее составные части, показывалась их взаимосвязь. Обучаемому давался взгляд на систему «с высоты птичьего полета» и показывалась важность введения корректных данных. Основная цель этапа состояла в том, чтобы дать представление о системе в целом, рабочем месте обучаемого в рамках системы, показать, на чью работу при вводе информации в систему он влияет. Этап проводился дистанционно с использованием презентации Power Point и системы Remote Assistance. В ходе обучения обучаемый при необходимости имел возможность остановить обучающего и задать любой вопрос по icq.

На этапе демонстрации работы в системе обучаемому с использованием Remote Assistance демонстрировалась работа в системе, показывались основные процедуры работы. После демонстрации обучающий отвечал на вопросы обучаемого.

На этапе *пробного ввода* обучаемому предлагалось самостоятельно (следуя инструкции) пройти по рабочей процедуре. В случае затруднений ему давались подсказки, а при необходимости – детальные разъяснения.

На этапе демонстрации результатов операций в системе рабочие процедуры демонстрировались более подробно еще раз. При этом особый акцент делался на результаты действий: в какой момент обработки заказа на продажу формируются складские проводки по отгрузке, в какой момент формируется задолженность клиента и т.п. Такой подход позволяет формировать целостное видение системы и достигать необходимого уровня понимания.

При выполнении самостоятельной работы пользователю предлагалось еще раз пройти по рабочим процедурам. Если он испытывал затруднения, ему давались развернутые пояснения. Обучающий непрерывно контролировал понимание обучаемым результатов его действий. На время всего обучения обучаемому предоставлялось свободное пространство для экспериментов: он имел возможность в любое время самостоятельно пройти по рабочим процедурам и проконтролировать получаемый результат, не опасаясь за возможные ошибочные действия.

На заключительном, шестом, этапе обучаемому предлагалось ответить на ряд контрольных вопросов и выполнить контрольные задания. Они располагались по степени возрастания понимания работы в системе.

При необходимости этапы с четвертого по шестой повторялись. Следует отметить, что этапы с первого по четвертый могут проводиться в группах, однако заключительные два этапа должны проводиться сугубо *индивидуально*. Существенно, что на любом из этапов обучаемый мог обратиться за разъяснениями к обучающему. Последний давал подробные разъяснения, предлагал упражнения на закрепление материала. В первую очередь обучение проводилось для так называемых ключевых пользователей (Key Users). Они, в свою очередь, могли в дальнейшем отвечать на наиболее распространенные вопросы других обучающихся. Использование такого подхода является стандартным при внедрении информационных систем и позволяет снижать нагрузку на обучающего.

Анализ результатов показал, что использование отмеченных технологий позволило: снизить затраты на внедрение информационной системы, повысить доступность консультантов, оперативно решать все возникшие проблемы, добиться высокого уровня понимания пользователями работы системы. В частности, снижение затрат было достигнуто за счет использования внутренних консультантов, снижения количества личных визитов консультантов на место внедрения и максимального использования средств удаленной работы, экономии затрат на международные телефонные переговоры.

За счет использования средств удаленной работы и средств коммуникации удалось кардинально повысить доступность консультантов, обеспечить работу консультанта в режиме «на месте». Это особенно важно на пятом этапе обучения пользователей, когда пользователь имел возможность в любой момент обращаться к консультанту и оперативно решать все возникшие проблемы, не допуская задержки в выполнении проекта.

Успешному выполнению проекта способствовали:

- малочисленность обучаемых (12 чел.),
- лояльность персонала к проекту,
- отсутствие барьера в общении,
- четкость согласования всех действий с руководителем проекта,
- использование достаточно быстрых коммуникационных линий.

Малочисленность обучаемых позволила применить индивидуальный подход к обучению и гарантировать высокую степень усвоения материала. Лояльность заказчика к проекту обеспечила высокий уровень выполняемых работ и позволила ограничить личные визиты консультантов в офис компании. Принципиально важным был высокий уровень знания иностранного (английского) языка персоналом заказчика. Это обеспечивало полное понимание обучаемыми задач и высокий уровень усвояемости материала.

Таким образом, на примере реального проекта внедрения корпоративной информационной системы показано, что современные технологии дистанционного обучения позволяют значительно повысить эффективность ИТ-технологий и снизить затраты на выполнение проекта.

## Литература

1. Исмагилова Ф.С. Основы профессионального консультирования. М., 2003. 256 с.
2. Посадский А.П. Основы консалтинга: пособие для преподавателей экономических и бизнес-дисциплин. М., 1999. 240 с.
3. Агапонов С. В. и др. Средства дистанционного обучения: Методика, технология, инструментарий / Под ред. З. О. Джалиашвили. СПб, 2003. 336 с.

## О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ САЙТА ГАЗЕТЫ «УНИВЕРСИТЕТ ИТМО» НА ПОРТАЛЕ УНИВЕРСИТЕТА

И. А. Лапшина, Т. С. Медведева

Одним из фрагментов портала Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики является сайт газеты университета. На нем можно просмотреть все полосы печатного аналога газеты в формате pdf, а также каждый отдельный текст в электронном варианте, оформленный с использованием гиперссылок. С целью дальнейшего совершенствования сайта создано расширение в виде сайта редакции газеты. При его создании учтен опыт оформления подобных наиболее развитых сайтов газет некоторых вузов Санкт-Петербурга.

Приведем результаты сравнительного анализа этих сайтов. Сформулируем некоторые рекомендации по их разработке. Опишем созданный на портале университета с учетом этих рекомендаций сайт редакции газеты «Университет ИТМО» (<http://www.ifmo.ru/newspaper>).

В настоящее время в связи с развитием информационных технологий многие вузы информируют свои коллективы не только через многотиражные издания (газеты или журналы), но и через их сайты. Примерами таких изданий являются: журнал СПбГУ, газеты «Марата, 27», «Наш путь», «Связист.spb». Адреса сайтов этих периодических изданий представлены в табл. 1.

№	Название издания	Вуз	Адрес сайта
1	Журнал СПб ГУ	Санкт-Петербургский государственный университет	<a href="http://www.spbumag.nw.ru/2005/28/num_index.shtml">http://www.spbumag.nw.ru/2005/28/num_index.shtml</a>
2	Марата 27	Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет	<a href="http://marata27.engec.ru/index.php?option=com_frontpage&amp;Itemid=1">http://marata27.engec.ru/index.php?option=com_frontpage&amp;Itemid=1</a>
3	Наш путь	Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения	<a href="http://www.pgups.ru/nash_put/nash_put_index.htm">http://www.pgups.ru/nash_put/nash_put_index.htm</a>
4	Связист. Spb	Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч Бруевича	<a href="http://www.sut.ru/about/svyazist.html">http://www.sut.ru/about/svyazist.html</a>

Таблица 1. Адреса сайтов изданий

В качестве критериев сравнения, следуя [1], использованы следующие показатели:

- дизайн (внешний вид, цветовая гамма и т. д.);
- навигация (удобство пользования сайтом, степень сложности поиска информации);
- качество представления материалов, используемые форматы;
- организация общения с читателями;
- информационная насыщенность (количество представленного материала, степень его восприятия);
- степень структурирования материала (способ выделения главных тем, разделов и статей);
- наличие архива, его организация и удобство пользования.

В табл. 2 представлены экспертные оценки соответствующих показателей сайтов сравниваемых изданий. В качестве экспертов выступали студенты и сотрудники СПбГУ ИТМО. Оценки выставлялись по пятибалльной шкале и в дальнейшем суммировались по каждому столбцу. По результатам этого суммирования было проведено ранжирование сайтов [2] и определены рекомендации по их совершенствованию.

Показатели	Номера изданий			
	1	2	3	4
Внешний вид	4	5	3	4
Навигация	4	5	3	4
Качество представления материалов газеты	3	3	2	2
Информационная насыщенность	3	5	1	1
Организация общения с читателями	1	4	1	2
Степень структурирования материала	3	5	1	2
Архивирование материалов	3,5	3	2	3
Сумма показателей	21,5	30	13	18
Ранг	2	1	4	3

Таблица 2. Ранжирование сайтов

Анализ табл. 2 показывает, что по сумме набранных баллов наиболее удачным из рассмотренных, по мнению респондентов, является сайт газеты «Марата, 27». Первая его страница приятна по сочетанию и насыщенности цветовой гаммы, что располагает к дальнейшему просмотру. На ней находится необходимый минимум информации, а подробные сведения можно с легкостью отыскать в удобном и понятном меню. Предусмотрен поиск информации по сайту. При желании можно воспользоваться архивом, содержащим электронные версии статей. Предоставлена возможность обсуждения любой из статей, что является хорошей формой организации общения читателей, как между собой, так и с редакцией газеты.

Наиболее слабым местом сайта является отсутствие возможности просмотреть газету в формате pdf, что не дает возможности составить представление о том, как выглядит газета в целом.

Что касается отдельных показателей, то по критерию «Навигация» наиболее удачными является сайт журнала СПбГУ. В нем представлен оригинальный способ подачи информации: на главной странице сайта размещаются краткие аннотации статей последнего номера. Это позволяет читателю быстро и точно находить интересующие его материалы.

На всех рассмотренных сайтах общение с читателями, к сожалению, организовано слабо либо вовсе отсутствует. Газета «Марата, 27» предлагает обсуждение каждой из представленных статей в отдельности. Газета «Связист.spb» ограничивается лишь представлением адреса электронной почты, давая возможность читателю высказывать свои предложения и замечания.

По степени структурирования материала предпочтение можно отдать сайту газеты «Марата, 27». На нем информация сгруппирована по рубрикам, расположенным в понятной и логической последовательности. Несколько уступает ему по этому показателю сайт журнала СПбГУ. Здесь аннотации всех статей номера расположены на главной странице, что придает ей излишнюю загруженность и затрудняет поиск. Новости сайта, представленные в правой колонке главной страницы, расположены очень плотно. К тому же, их обновление ограничивается исключительно добавлением последних новостей, причем далеко не регулярно. Архивы изданий предусмотрены на всех рассмотренных сайтах.

Обобщая проанализированные материалы, следует отметить, что основу сайта вузовского печатного периодического издания составляет его электронная версия. Электронный формат издания позволяет расширить рамки его печатного аналога как за счет возможности использования полноцветного оформления полос, так и за счет увеличения объема публикуемого материала, без существенных финансовых затрат. Кроме того, сайт печатного издания содержит дополнительную информацию как о самом издании, так и о его отдельных материалах. При этом необходимы удобная навигация по

сайту, привлекательный дизайн и логичное структурирование его материалов. Главное для вузовской газеты и ее сайта – наладить диалог с читателем. Этому способствует организация форума и других форм взаимодействия.

Таким образом, проведенный анализ сайтов многотиражных периодических изданий вузов позволяет сформулировать следующие рекомендации по их разработке:

- внешний вид сайта должен привлекать внимание читателя к его основным материалам;
- материалы газеты должны представляться в разных форматах, в том числе в формате pdf;
- по мере необходимости читатели должны иметь возможность не только ознакомиться с любым из материалов, но и копировать его;
- количество представленного материала и его структурирование должно способствовать желанию читателя самостоятельно «путешествовать» по сайту;
- навигация должна быть понятной и простой в использовании, отражать основные направления и возможности сайта;
- необходима организация разнообразных форм общения с читателями;
- архив номеров и отдельных статей целесообразно организовать по рубрикам.

С учетом отмеченных рекомендаций авторами статьи разработано расширение электронной версии газеты, расположенной на портале СПбГУ ИТМО, в виде сайта редакции газеты «Университет ИТМО». Оно позволяет знакомить читателей газеты не только с отредактированными и вошедшими в бумажную версию газеты материалами, но практически со всеми материалами, поступившими в редакцию газеты для публикации, без купюр. Таким образом, расширение дает возможность читателям газеты познакомиться с процессом ее создания.

На главной странице сайта помещено приветствие редакции газеты и краткая информация для тех, кто посещает сайт впервые либо хочет получить краткие сведения о газете. Левая колонка отведена для ссылок на основные страницы сайта. Это облегчает пользователю поиск информации и дает полное представление о его архитектуре и устройстве. В правой колонке расположен календарь и полезные ссылки.

Чтобы прочитать материалы последнего номера газеты, необходимо осуществить переход по соответствующей ссылке. На открывающейся при этом странице расположены краткие аннотации всех статей. Это дает читателю возможность самому выбрать интересующий его материал. Выбрав статью, читатель может ознакомиться с полным ее вариантом, расположенным на официальном портале университета.

Для большей гибкости сайта и расширения возможности общения читателей с редакцией газеты представлена рубрика «Статья номера». Здесь наиболее актуальную статью номера можно не только прочитать, но и обсудить. Для непосредственного общения посетителей сайта с редакцией газеты организован форум. Используя его, читатель может предлагать для обсуждения в газете свои темы, участвовать в уже начатых на страницах газеты дискуссиях.

На сайте имеются такие ссылки, как «Написать письмо» и «Ваши контакты». Первая дает возможность поддерживать обратную связь с редакцией, вторая содержит список адресов сайтов, разработанных в студенческих группах университета, а также адреса сайтов газет некоторых вузов Санкт-Петербурга.

При разработке сайта использованы различные приемы оформления, представления информации, общения и построения навигации.

### Литература

1. Кирсанов Д. Веб-дизайн: книга Дмитрия Кирсанова. СПб: Символ-Плюс, 2001. 376 с.
2. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1983. 472 с.

# СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ» И ПУТИ ЕЕ ОПТИМИЗАЦИИ

М.И. Потеев, Н.Н. Горлушкина

Одна из задач организации учебного процесса в вузе по какой-либо специальности состоит в определении модели подготовки специалиста. В работе [1] такую модель предлагается строить в виде графа, у которого в вершинах располагаются названия соответствующих учебных дисциплин, а ребра показывают связи между ними. Для привязки графа к академическому календарю он накладывается на таблицу, в которой столбцы соответствуют семестрам обучения, а строки – циклам учебных дисциплин. Модель подготовки специалиста, построенная по такому принципу, названа автором работы [1] структурно-динамической моделью. В самом деле, она, с одной стороны, отражает структуру подготовки специалиста, с другой – показывает ее динамику, то есть причинно-следственные связи.

Хотя методы построения сетевых графиков хорошо известны [4], но к организации учебного процесса в вузах они до сих пор применяются сравнительно редко.

Опишем структурно-динамическую модель подготовки инженеров специальности «Информационные технологии в образовании» и отметим пути ее оптимизации.

Согласно Государственному образовательному стандарту специальности «Информационные технологии в образовании», учебный план подготовки инженеров для соответствующей профессиональной деятельности [3] имеет четыре основных раздела:

- общие гуманитарные и социально-экономические дисциплины (20%),
- общие математические и естественнонаучные дисциплины (20%),
- общие профессиональные дисциплины (30%),
- специальные дисциплины (30%).

Каждый из первых трех разделов складывается, в свою очередь, из трех подразделов: федерального компонента, национально-регионального (вузовского) компонента и дисциплин по выбору студента, устанавливаемых вузом. В частности, федеральный компонент раздела «Общие гуманитарные и социально-экономические дисциплины» включает такие дисциплины, как *Иностранный язык, Физическая культура, Философия, Отечественная история, Культурология, Социология, Экономика*.

Вузовский компонент этого раздела в СПбГУ ИТМО содержит дисциплины: *Правоведение, Основы логической культуры, Основы этикета*. Их дополняют дисциплины по выбору: *Философские проблемы культуры и цивилизации* или *Иностранный язык (дополнительные разделы)*.

К общим математическим и естественнонаучным дисциплинам федерального компонента относятся: *Математика, Информатика, Физика, Химия, Экология*. В СПбГУ ИТМО в число математических дисциплин федерального компонента входят: *Алгебра и геометрия, Математический анализ, Дискретная математика, Математическая логика и теория алгоритмов, Вычислительная математика, Теория вероятностей, Математическая статистика и случайные процессы*. Региональный (вузовский) компонент этого раздела в СПбГУ ИТМО представлен дополнительными главами математики и физики.

К общепрофессиональным дисциплинам федерального компонента относятся: *Электротехника и электроника; Метрология, стандартизация и сертификация; Безопасность жизнедеятельности; Информационные технологии; Теория информационных процессов и систем; Интеллектуальные информационные системы; Информационные сети; Информационная безопасность и защита информации; Моделирование систем, архитектура ЭВМ и систем; Операционные системы; Технология программирования; Компьютерная геометрия и графика; Банки и базы данных*.

Вузовский компонент раздела «Общепрофессиональные дисциплины» представлен в СПбГУ ИТМО дисциплиной *Объектно-ориентированное программирование*, а в качестве дисциплин по выбору студента выступают: *Тренинг общения, Технология программирования (дополнительные разделы), Общая психология*.

Раздел «Специальные дисциплины» складывается из двух подразделов – собственно специальных дисциплин и дисциплин специализации. Первый из них, согласно Государственному образовательному стандарту, включает дисциплины: *Информационные системы в управлении учебным процессом, Мультимедиа технологии в образовании, Дистанционные технологии в образовании, Мировые информационные образовательные ресурсы, Психолого-педагогические основы проектирования информационных систем в образовании, Проектирование информационных систем в образовании*.

Содержание второго подраздела специальных дисциплин зависит от специализации подготовки. В СПбГУ ИТМО подготовка инженеров специальности «Информационные технологии в образовании» ведется по двум специализациям:

- Аппаратно-программные комплексы образовательных систем,
- Управление проектами в информационных образовательных системах.

Первую специализацию реализует кафедра компьютерных образовательных технологий, вторую – кафедра технологий профессионального обучения.

Общими для обеих специализаций являются дисциплины: *Введение в специальность, Web-программирование, Информационное право, Научно-исследовательская работа*.

Кроме них в рассматриваемый блок входят:

по первой специализации – *Программно-аппаратные комплексы в образовательных системах, Основы построения аппаратного обеспечения образовательных систем, Специализированные базы данных и среды для образования, Информационный интерфейс в образовательных системах, Нормативно-организационное обеспечение дистанционного образования;*

по второй специализации – *Основы проектирования информационных образовательных ресурсов, Управление проектами в информационных образовательных системах, Профессиональное консультирование, Технология создания информационных образовательных систем, Мультимедиа технологии в информационной среде, Диагностика информационных образовательных ресурсов, Проектирование специализированных баз данных и сред для образования.*

В частности, в такой дисциплине, как *Общая психология*, описываются информационные процессы, происходящие в мозге человека. В ней имеются, например, разделы: *Психика и мозг; Психология познавательных процессов; Память; Мышление*.

Образовательная программа специальности «Информационные технологии в образовании» предусматривает прохождение студентами трех практик: в восьмом, десятом и одиннадцатом семестрах продолжительностью от четырех до шести недель. Условно эти практики можно обозначить как педагогическую, технологическую и преддипломную.

В рамках основной образовательной программы студенты, обучающиеся по специальности «Информационные технологии в образовании», могут факультативно пройти военную подготовку. Согласно Государственному образовательному стандарту, эта подготовка продолжается пять учебных семестров и занимает 450 учебных часов.

Общая продолжительность обучения по рассматриваемой специальности составляет в СПбГУ ИТМО пять с половиной лет. Итоговая государственная аттестация включает государственный экзамен и защиту дипломного проекта (дипломной работы). Она проводится в конце одиннадцатого семестра в течение четырех недель.

Примерами тем выпускных квалификационных работ студентов кафедры технологий профессионального обучения являются:

- Электронное учебное пособие по разделу «Информационные технологии» курса информатики;
- Мультимедийная энциклопедия по дисциплине «История педагогики и философии образования» (раздел «История русской педагогики»);
- Электронное учебное пособие «Бухгалтерский учет в системе GAAP» на английском языке с применением ресурсов Интернет;
- Применение Java-технологий в дистанционном тестировании на примере курса «Компьютерные сети»;
- Использование Интернет-технологий при проведении заочных студенческих олимпиад по информатике и методике ее преподавания;
- Использование мультимедиа-технологий в курсе «Концепции современного естествознания»;
- Использование компьютерных технологий в преподавании английского языка;
- Web-сайт кафедры технологий профессионального обучения для портала университета и его использование в учебно-методической и воспитательной работе;
- Web-сайт преподавателя как средство сопровождения педагогического процесса в вузе (на примере преподавания педагогических дисциплин).

К сожалению, графическое изображение структурно-динамической модели достаточно велико и не позволяет привести ее в настоящей статье в полном объеме. Некоторое представление об этом изображении можно составить по книге [1].

Принципиально важным является отражение на схеме конечного результата. Вся совокупность общих гуманитарных, социально-экономических, математических, естественнонаучных и часть профессиональных дисциплин должна обеспечивать общеинженерную подготовку. Большая часть общих профессиональных дисциплин должна быть нацелена на подготовку и сдачу государственного итогового экзамена. Практически все специальные дисциплины и учебные практики должны обеспечивать условия для подготовки и успешной защиты выпускной квалификационной работы.

При составлении учебного плана необходимо осуществить его оптимизацию по перечню изучаемых дисциплин, связей между ними, а также времени изучения различных циклов. Соблюдение на практике теоретических принципов последовательности и взаимосвязи различных циклов в процессе подготовки специалиста, в частности инженера, может существенно повлиять на ее качество.

При расчете оптимальной структуры учебного плана подготовки каких-либо специалистов рекомендуется [1] учитывать следующие основные положения:

- 1) соотношение часов аудиторных занятий и самостоятельной учебы учебной работы должно составлять примерно 3:4;
- 2) доли различных циклов учебных дисциплин должны соответствовать некоторым средним значениям;
- 3) с целью высвобождения дополнительных часов для НИРС и подготовки выпускных квалификационных работ обязательная аудиторная нагрузка на старших курсах в объеме уменьшается;
- 4) лабораторные занятия предусматриваются во всех семестрах, кроме первого, поскольку в этот период усвоение знаний осуществляется в основном на первом и втором уровнях;
- 5) по мере перехода от первых к последним семестрам (когда второй уровень усвоения уже пройден количество семинарских (практических) занятий уменьшается;
- 6) в качестве нормативных параметров принимается, что количество часов аудиторных занятий составляет от 25 час. (на младших курсах) до 18 час. (на старших курсах) в неделю, а общий бюджет времени студента (на все виды учебной работы в неделю) должен составлять не более 54 часов.

Ключевую роль в формировании макроструктуры оптимального учебного плана играют опорные дисциплины. Определение их места среди других дисциплин в структурно-динамической модели учебного процесса и последовательности их прохождения чрезвычайно важно. Простое изменение взаимного расположения учебных дисциплин внутри даже одного учебного цикла (при соблюдении, разумеется, логической последовательности и взаимосвязи дисциплин) может заметно сказаться на качестве всей модели подготовки.

Изучение содержания учебных планов ведущих технических университетов мира свидетельствует о неуклонной эволюции модели подготовки инженера в сторону насыщения ее дисциплинами фундаментального, общетеоретического, исследовательского характера. За последние десятилетия из учебных планов подготовки инженеров практически исключены дисциплины описательного, рецептурного или иллюстративного характера [1]. Учитывая этот опыт, следует заключить, что в числе общепрофессиональных дисциплин в качестве опорных должны быть оставлены только те, которые отличаются очевидной, ярко выраженной фундаментальностью.

В частности, для учебного плана подготовки инженеров специальности «Информационные технологии в образовании» такой общепрофессиональной дисциплиной, очевидно, следует признать дисциплину *Теория информационных процессов и систем*.

К числу опорных специальных дисциплин в учебном плане подготовки инженеров специальности «Информационные технологии в образовании» относятся такие, как *Введение в специальность, Психолого-педагогические основы проектирования информационных систем в образовании, Мультимедиа технологии в образовании, Проектирование информационных систем в образовании, Проектирование специализированных баз данных и сред для образования*.

Перечисленные опорные дисциплины образуют, по выражению академика РАО В.С. Леднева [2], так называемую сквозную линию образования.

Существенно, что при составлении структурно-динамической модели подготовки инженеров специальности «Информационные технологии в образовании» особое внимание было обращено на дополнение сквозной линии образования серьезной научно-исследовательской работой студентов. С этой целью при кафедре технологий профессионального обучения создана и функционирует уже семь лет студенческая кафедра, ежегодно проводятся научно-практические конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии в образовании», по результатам этих конференций печатаются сборники докладов. Большинство выпускников кафедры к моменту защиты выпускных квалификационных работ имеют научные публикации. Их число достигает десяти, а один из выпускников кафедры технологий опубликовал в издательстве БХВ достаточно интересное руководство по трехмерной графике.

При организации этой работы учитывается, в частности, положительный опыт вузов США [1], где вузы, имеющие высокие показатели рейтинга качества, являются и крупными научными центрами страны. В этих вузах проводятся большие по объему и достаточно совершенные научные исследования, а студенты привлекаются к ним в качестве равноправных членов научно-исследовательских групп. При этом некоторый дефицит в обязательных лабораторных занятиях восполняется активным привлечением студентов к реальным научным исследованиям, широким развитием всех видов и форм учебно-исследовательской работы в рамках существующих учебных планов. Подтверждение студентом наличия у него способностей к исследовательской деятельности определяет его перевод на более высокую ступень обучения.

Описанный в работе [1] алгоритм структуры учебных планов позволяет строить оптимальную типовую модель, исходя из любых заданных временных параметров, выраженных в часах в неделю или в часах аудиторных занятий за весь период обучения.

Сетевые графики учебного процесса имеют большие преимущества по сравнению с общепринятым до последнего времени табличным вариантом. Графическая модель позволяет наглядно демонстрировать межпредметные связи, более точно определять важнейшие, так называемые опорные курсы. Как показывает опыт, при необходимости она позволяет корректировать затраты времени на более напряженных участках, формулировать и оперативно уточнять конкретные задачи учебного процесса, вносить соответствующие изменения в учебный план.

Структурно-динамическая модель фактически сочетает сетевой и оптимизированный линейный графики учебного плана. При этом сетевой график показывает технологическую последовательность прохождения учебных дисциплин и межпредметные связи, а оптимизированный линейный график характеризует суммарные затраты времени (в неделю, на каждую из дисциплин, на их циклы и виды учебной работы). За счет отражения разбивки этих затрат по семестрам она определяет также временную координату учебного процесса. Благодаря такому графическому изображению удается четко представить число учебных дисциплин, изучаемых параллельно в течение семестра, определить опорные дисциплины и их влияние на конечный результат.

### Литература

1. Гонтарев Б.А. Технический университет США. Л.: ЛГУ, 1980. 124 с.
2. Леднев В.С. Содержание образования: сущность, структура, перспектива. М.: Высш. шк., 1991. 224 с.
3. Потеев М.И. Информационные технологии в образовании: Введение в специальность. СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. 196 с.
4. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. Киев: Техніка, 1977. 766 с.

# РОЛЬ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА В СОЗДАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Е.А. Сергеева

Перспектива развития электронных образовательных ресурсов тесно связана с их модульной архитектурой, которая позволяет выстраивать открытые мультимедиа системы. При создании электронных образовательных ресурсов необходимо учитывать идеи и принципы педагогического дизайна наряду с техничностью конструкции. Решения, предлагаемые педагогическим дизайном для удовлетворения образовательных потребностей, необходимо учитывать от самого замысла и до внедрения готового ресурса в образовательных процесс.

Под педагогическим дизайном понимается область науки и практической деятельности, основанная на теоретических положениях педагогики, психологии и эргономики, занимающаяся вопросами разработки учебного материала, в том числе, на основе информационных технологий и обеспечивающая наиболее рациональный, эффективный и комфортный образовательный процесс [1]. Это целостный процесс анализа потребностей и целей обучения и разработки системы способов передачи знаний для удовлетворения этих потребностей. Педагогический дизайн является инструментом, благодаря которому обучение и учебные материалы становятся более привлекательными, эффективными, результативными.

Покажем, что применение идей педагогического дизайна при создании электронных образовательных ресурсов существенно влияет на их качество и эффективность их применения на практике.

Еще недавно считалось, что основными этапами создания компьютерных обучающих программ являются следующие:

- методическая проработка учебного материала;
- составление сценария обучения;
- программирование учебно-методического материала.

В результате выполнения первых двух этапов создавалось информационное, а при реализации третьего этапа – программное обеспечение электронного образовательного ресурса. Однако при такой постановке задач по созданию образовательного ресурса не уделялось должного внимания анализу потребностей рынка подобных ресурсов, а также не проводилось глубинное исследование процесса внедрения ресурса на рынок, не производился мониторинг и оценка эффективности работы электронного образовательного ресурса на протяжении длительного времени.

В любой сфере проектирования сочетаются элементы творческого подхода к конструированию действительности с последовательностью шагов проектирования. Этапы педагогического дизайна как процесса являются этапами создания электронных образовательных ресурсов.

Как процесс проектирования электронных образовательных ресурсов, педагогический дизайн состоит из следующих основных этапов:

- анализ (потребностей, целей, условий);
- проектирование (составление плана, подготовка прототипов, выбор решения);
- разработка (учебных материалов на базе прототипов);
- применение (использование в образовательном процессе),
- оценка (для корректировки учебных материалов).

Вне зависимости от предметной области образовательного ресурса, над его созданием трудятся не один или несколько специалистов, а целая команда, группа специалистов-разработчиков. В нее, как правило, входит руководитель проекта, педагогический дизайнер, методист-сценарист, художник-аниматор, видеоинженер, аудиоинженер, программист.

Сущность педагогического проектирования состоит в выявлении и анализе педагогических проблем, причин их возникновения, определении целей и задач, построении стратегий проектирования, поиске методов реализации педагогического проекта [2]. В отличие от педагогического проектирования, деятельность команды разработчиков, основанная на принципах педагогического дизайна, охватывает процесс проектирования шире, от анализа потребностей рынка и социального заказа, до оценки результатов долгосрочного использования.

Интеграция разработки электронных образовательных ресурсов и педагогического дизайна может осуществляться на нескольких уровнях деятельности:

- уровне образовательного контекста (анализ обучаемых, анализ преподавателей);
- уровне требований (требования обучения);
- уровне проектирования (требования к электронным образовательным ресурсам).

Информатизация пространства указывает на необходимость использования мультимедиа технологии при проектировании электронных образовательных ресурсов, усиление практики медиаобразования, которая обеспечивает множественные каналы подачи информации, и создает условия для дополнения сред. Однако при создании электронных образовательных ресурсов существует разрыв между способами представления учебного материала и идеями современных теорий обучения. Множество электронных образовательных ресурсов до сих пор создается в виде статических гипертекстовых документов с включением Flash-анимации. В то же время неоспоримо, что образовательный процесс становится более эффективным при использовании интерактивных, насыщенных мультимедиа образовательных ресурсов, обеспечивающих деятельностные методы в условиях личностно-ориентированного обучения [3].

Создание современных электронных образовательных ресурсов с упором на личностно-ориентированное обучение и высокий уровень подачи учебного материала требует не только специального образования и системного подхода, но и владения основами педагогического дизайна.

### Литература

1. Моисеева М.В., Полат Е.С., Бухаркина М.Ю., Нежурина М.И. Интернет-обучение: технологии педагогического дизайна. М.: Издательский дом «Камерон», 2004. 216 с.
2. Кречетников К.Г. Педагогический дизайн и его значение для развития информационных образовательных технологий. / Материалы XVI Международной конференции «Применение новых технологий в образовании». Троицк, 2005.
3. Осин А.В. Мультимедиа в образовании: контекст информатизации. М.: Агентство «Издательский сервис», 2004. 320 с.

# **О ВОЗМОЖНОСТЯХ И ПЕРСПЕКТИВАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА РЕГИСТРАЦИЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ В НЕМ ЭНЕРГОИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ**

**Г.Н. Дульнев, И.Б. Стражмейстер, А.С. Богданцев**

Рассматривается изменение локальных энергоинформационных потоков человека при исследовании влияния процесса обучения: устный счет, анализ сложных функций методом дифференцирования и объяснение методов решения задач по электронике. Локальный энергоинформационный поток оценивается по показателю нормированной энтропии, измеряемой в биологически активных точках. Для сравнения приведены результаты измерения в нейтральных точках. Описаны приведенные эксперименты, проведены и проанализированы полученные результаты, отмечены перспективы проведения подобных экспериментов с целью выработки педагогических рекомендаций по совершенствованию процесса обучения.

## **Введение**

Одной из особенностей процесса обучения человека по сравнению с другими процессами (биологическими, физическими, химическими, технологическими и т. д.) является трудность его исследования с использованием приборов.

Покажем возможность исследования процесса обучения человека регистрацией в нем энергоинформационных потоков. Как показано в работе [1], оценка самих энергоинформационных потоков можно осуществлять, измеряя некоторые термодинамические показатели.

В настоящее время одной из значимых тем исследования в различных областях науки является оценка степени сосредоточенности и расслабления человека при разнообразных ментальных воздействиях и взаимодействия между людьми в процессе обучения и количественная оценка влияния энергоинформационных воздействий на изменение состояния сознания человека. Для изучения этого процесса исследуется изменение значения удельной термодинамической (или информационной) энтропии с различных участков тела человека в различные моменты времени при умственной нагрузке. Способ оценки энергоинформационных потоков человека по термодинамическим показателям описан в статье [1]. В данной работе представлены результаты исследования влияния ментальных усилий человека на состояние хаотичности или упорядоченности состояния его сознания при проведении устного счета, анализа сложных функций методом дифференцирования и объяснения методов решения задач по электронике; наличия имплицативной связи между людьми в процессе совместной работы при решении сложных задач; различий между реакцией ментального и эмоционального центров, а также нейтральных точек на умственную активность.

## **Метод проведения эксперимента и обработка результатов**

Для исследования различных проявлений энергоинформационного обмена в природе применяется измерительный комплекс «ЭНИОТРОН-2» [2]. Устройство включает преобразователь теплового потока, выходы которого соединены с многоканальным аналого-цифровым преобразователем (АЦП), соединенным с персональным компьютером.

Для регистрации энергоинформационных сигналов применяются датчики на основе измерителя теплового потока (тепломер Геращенко). Поверхность скрученной в спираль константановой проволоки методом электролиза наполовину (полвитка) покрывается медной пленкой. Затем эту скрученную в спираль проволоку укладывают в виде плоской двойной спирали  $\varnothing$  10–15 мм и заливают смолой с наполнителем так, чтобы на поверхности диска толщиной 1–2 мм находились медно-константановые соединения. Таким образом, получается термоэлемент, содержащий ~5000 медно-

константаноых термопар на  $1 \text{ см}^2$  и вырабатывающий термоЭДС, пропорциональную разности температур на поверхностях датчика. Для перехода от величины термоЭДС [В] к величине теплового потока [ $\text{Вт}/\text{м}^2$ ], проходящего через преобразователь теплового потока, используется коэффициент градуировки.

Аналоговые электрические сигналы, поступающие с последовательно соединенных термопар на АЦП, преобразуются в цифровую форму и поступают на ЭВМ, где в реальном масштабе времени отображаются на экране монитора и сохраняются в виде файла числовых данных на жестком диске.

Измерительный стенд основан на плате аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), вставляемой внутрь компьютера IBM PC. К плате АЦП подключен внешний блок усилителя-коммутатора. К блоку усилителя-коммутатора подключаются тепловые датчики. Установка содержит 16 каналов. Параметры каналов: максимальная частота – 5кГц, диапазон – (10; 5; 2,5; 1,25; 0,625) mV, шкала 4096 значений (дискретность 0,03%). Амплитуда шумов-наводок; без заземления – до 100 mkV, с заземлением – 5–15 mkV, с программной фильтрацией 0,1–0,5 mkV.

Измерение теплового потока и температуры производится с нескольких областей человеческого тела, выбор областей съема информации предложено осуществлять по принципам школ восточной медицины. Эксперименты проводятся следующим образом: датчики крепятся в биологически активные точки, после прогрева датчик выходит на рабочий режим – режим стабилизированного теплового потока через тепломер. Затем в течение 10 минут записывается фон, при котором испытуемый находится в спокойном состоянии, затем происходит экзогенное (внешнее) или эндогенное (внутреннее) воздействие другого человека или самовоздействие, потом в последние 10 минут (последствие) испытуемый находится в состоянии покоя.

При помощи специально составленной программы из значений теплового потока и температуры по известным формулам рассчитывается значение приращения локальной энтропии; далее вычисляется величина приращения обмена энтропии с внешней средой, выбираются максимальное и минимальное значения. Для получения коэффициента хаоса из текущего значения вычитается минимальное, полученная величина делится на разницу между максимальным и минимальным значением обмена энтропии с внешней средой [1]:

$$K_x = \frac{\Delta_e S - \Delta_e S_{min}}{\Delta_e S_{max} - \Delta_e S_{min}}, \quad (1)$$

где  $\Delta_e S$ ,  $\Delta_e S_{max}$ ,  $\Delta_e S_{min}$  – текущее, максимальное и минимальное приращение удельной термодинамической энтропии обмена с внешней средой

Полученные величины выносятся на графики, по которым можно судить о факте воздействия, синхронности работы индуктора и перцепиента и влиянии воздействия на сознание участников эксперимента.

Программное обеспечение реализует несколько абсолютно независимых экспериментальных методик при переменном числе работающих каналов (до 16). Поддерживаются возможности обработки данных в реальном масштабе времени и работы в локальной сети.

Особенности и достоинства:

- обработку данных можно проводить по любым методикам, доступным в системе MatLab, причем в случае необходимости любая обработка может быть реализована в реальном масштабе времени;
- автоматическое ведение протокола эксперимента, фиксирующего режимы аппаратуры самостоятельно;
- возможность работы в локальной сети, с помощью которой реализованы дистанционное управление и многопроцессорная обработка в реальном масштабе времени.

## Устный счет

В психологии общепринята гипотеза о том, что устный счет помогает сосредоточиться, успокоиться, упорядочить свои мысли и внутреннее состояние. В данном эксперименте (рис.1) устный счет производила испытуемая К., до начала эксперимента находившаяся в состоянии эмоционального стресса. Датчик был закреплен в области межбровного промежутка (в восточной терминологии – точка Трекута, отвечающая за интеллектуальное состояние индивидуума). До 10 минуты записывался фон, по субъективным данным первые 5 минут испытуемая думала о возмущившем ее факте, после чего она стала настраиваться на эксперимент. Коэффициент хаоса  $K_x$  первые 5 минут находится в максимуме и равен 1, после чего он постепенно падает до значения 0,6. С 10 по 20 минуту производится устный счет. До 17 минуты испытуемая делает усилия, чтобы сосредоточиться на устном счете, и  $K_x$  постоянен и колеблется около значения 0,6. Далее испытуемая, по субъективным показаниям, увлекается устным счетом. Значение  $K_x$  уменьшается до значения 0,2. На 20 минуте заканчивается эксперимент; экспериментатор возвращает разговор на тему, которая волновала испытуемую до начала эксперимента. Испытуемая не наблюдает более эмоциональной реакции на возмущивший ее фактор. С 20 по 25 минуту идет запись последствий,  $K_x$  доходит до нуля, психо-эмоциональная система полностью упорядочивается.

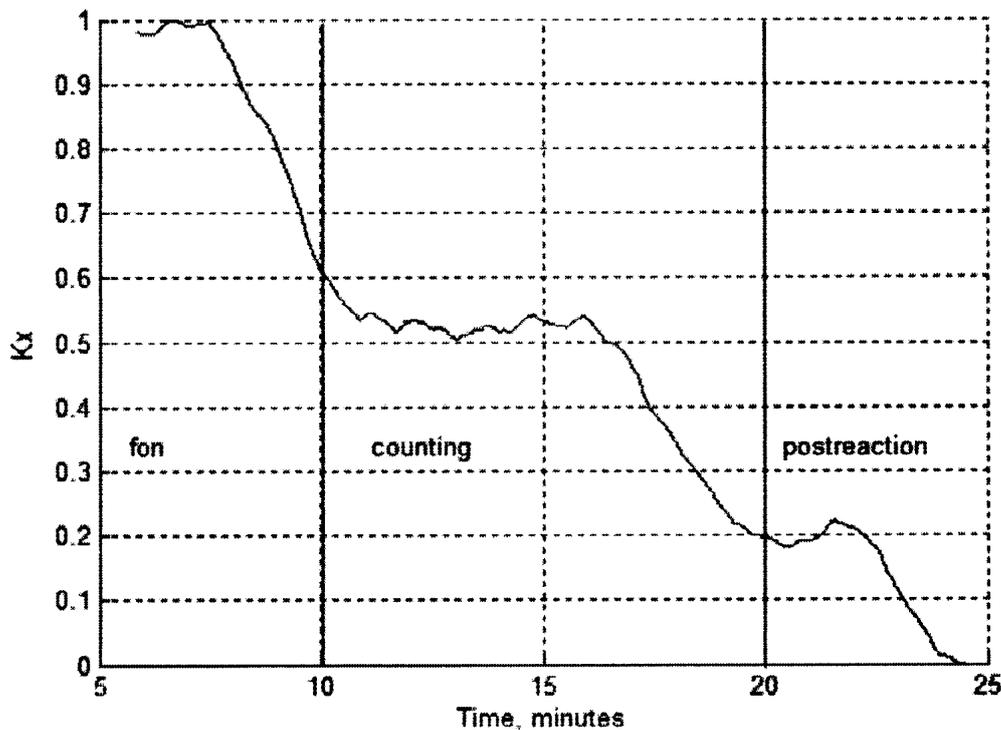


Рис. 1. Устный счет

## Объяснение способов решения задач по электронике

Целью данного эксперимента явилось проверка влияния ментальных усилий на психо-эмоциональное состояние испытуемых и синхронность мышления индуктора А.Б. и перципиента Т.А. при освоении нового материала (рис.2). До 10 минуты происходит снятие фонового воздействия. С 10 по 17 минуту индуктор объясняет общетеоретические вопросы по диодам и стабилитронам. Кривые, показывающие изменение  $K_x$  индуктора и перципиента, идут практически параллельно. С 17 по 30 минуты – вторая фаза, во время которой объясняет уже известный перципиенту материал (по субъектив-

ному мнению перципиента);  $K_x$  индуктора и перципиента находятся в противофазах (до 28 минуты). Перципиент невнимательно слушает материал, излагаемый индуктором, и противится его восприятию. С 28 по 30 минуты происходит дискуссия по поводу прохождения тока при различных способах включения диодов и стабилитронов, графики  $K_x$  синхронизируются. С 30 по 50 минуты – третья фаза, во время которой индуктор объясняет новый и ранее неизвестный перципиенту материал. Графики  $K_x$  коррелируются, фактически сливаются. Кривая индуктора идет с небольшим опережением во времени, так как индуктор в данном эксперименте «ведет за собой» перципиента. С 44 по 45 минуту происходит расхождение графиков, что, по субъективным объяснениям перципиента, вызвано отвлечением от прослушивания материала. С 50 по 60 минуту происходит запись последствий. У индуктора происходит гармонизация сознания,  $K_x$  доходит до значения 0,66. По субъективной оценке у перципиента наблюдается усталость,  $K_x$  стремится к 1.

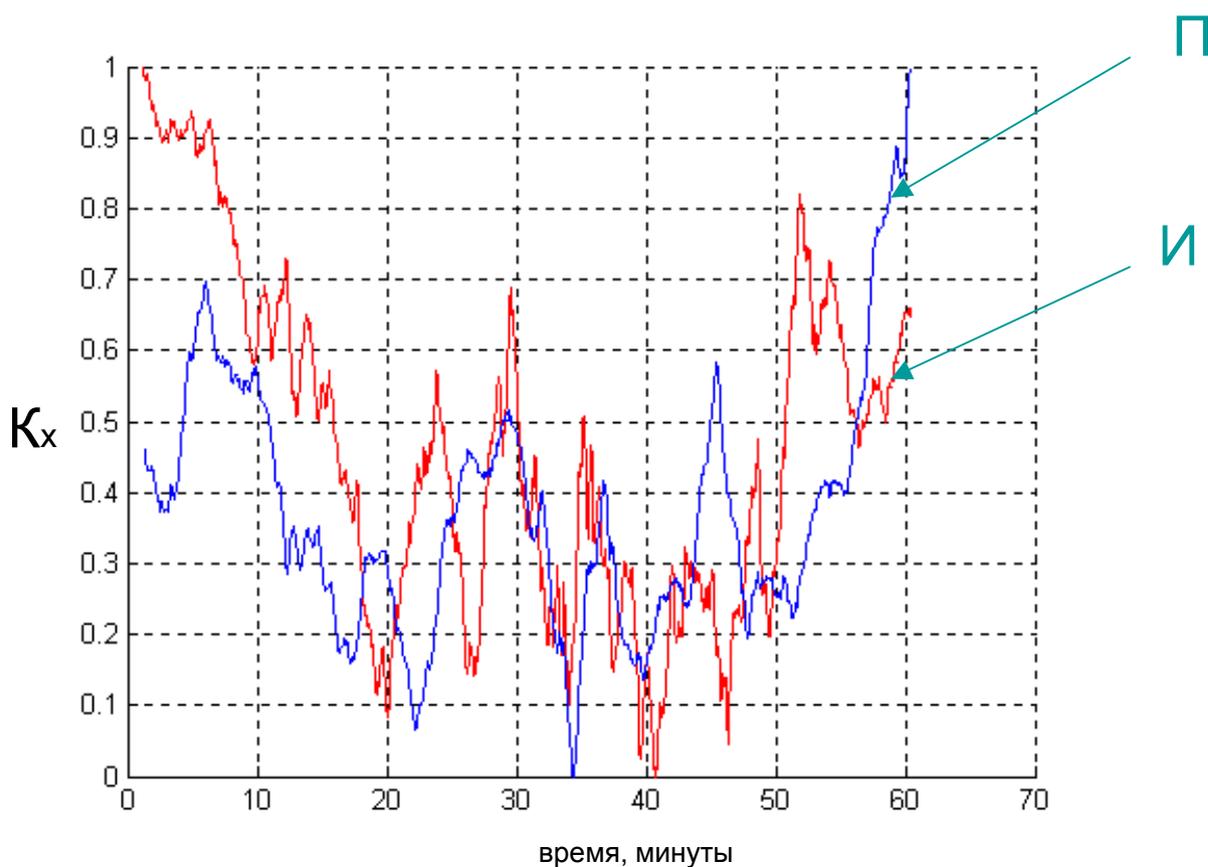


Рис. 2. Объяснение способов решения задач по электронике

Характерна синхронность результатов пары испытуемых с некоторым опережением индуктора, на седьмой минуте происходит расхождение, что, по субъективному заявлению Т.А., вызвано отвлечением перципиента. С 53 до 60 минуты в период последствий заметна продолжающаяся синхронность результатов.

### Анализ сложных функций

Целью эксперимента было исследование состояния человека при ментальных усилиях (анализ сложных функций на экстремумы и интервалы монотонности).

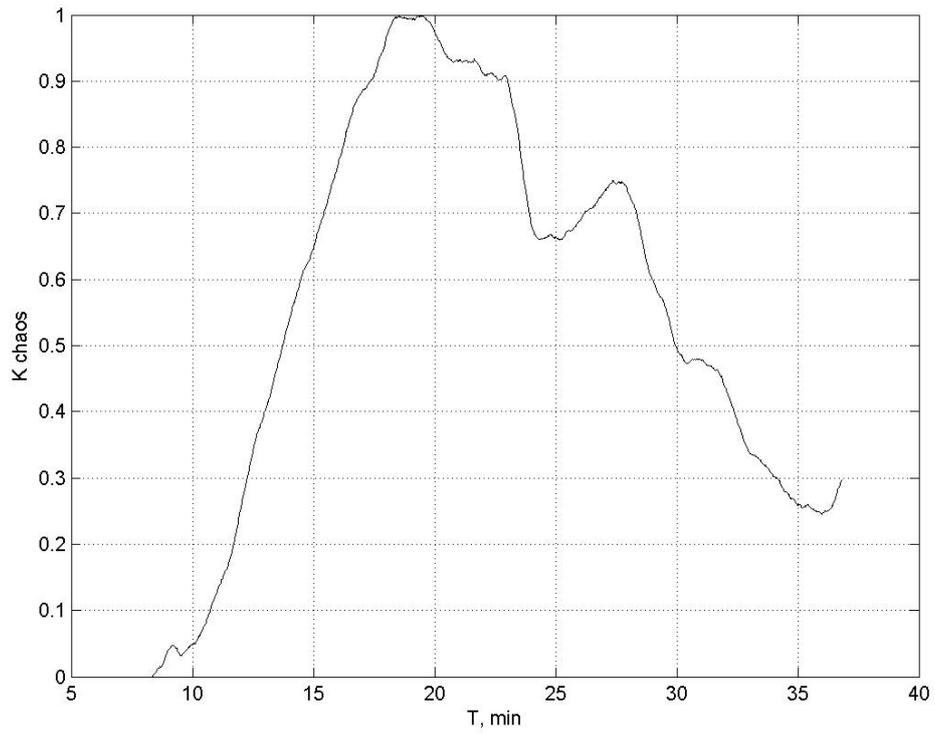


Рис. 3. Реакция ментального центра на интеллектуальную нагрузку

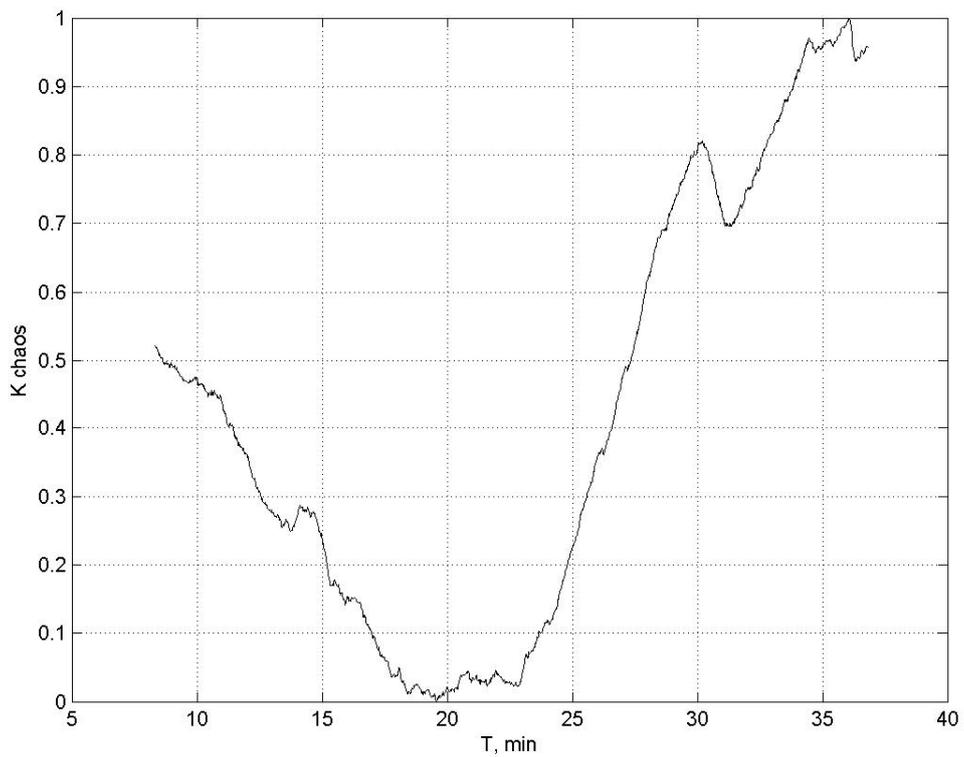


Рис. 4. Реакция эмоционального центра на интеллектуальную нагрузку

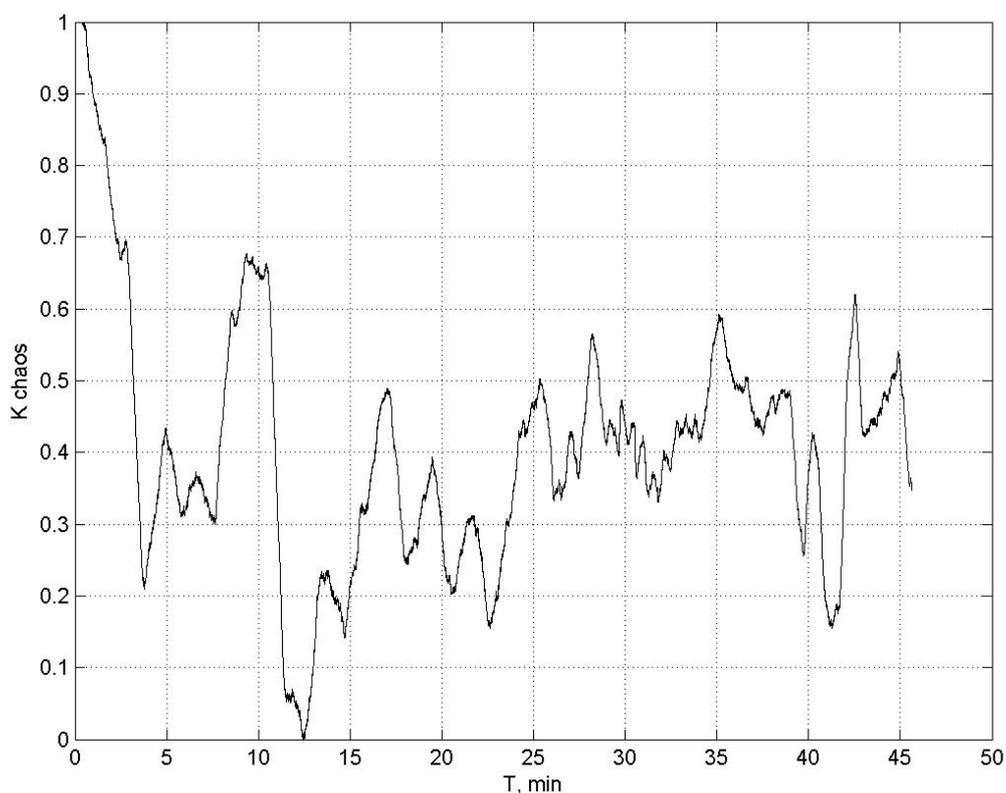


Рис. 5. Нейтральная точка

Для решения этой задачи сопоставлялась относительная энтропия в нескольких биологически активных точках тела испытуемого, а именно: в ментальной, эмоциональной и нейтральной БАТ, и сравнивался вид кривых коэффициента хаоса, снимаемых с биологически активных и нейтральных точек испытуемого А.Б. Опыт проводился по старой схеме. Датчики располагались на межбровном промежутке (аджна – ментальный центр), в середине груди (анахата – эмоциональный центр) и на предплечье правой руки (нейтральная точка). До 10 минуты записывался фон. С 10 по 30 минуты производился расчет производных. С 30 по 40 минуту записывалось последствие. Из полученных результатов видно, что при ментальном усилии  $K_x$  на ментальном центре (рис. 3) резко возрастает в процессе воздействия и убывает в последствии.  $K_x$  на эмоциональном центре зеркально противоположен ментальному (рис. 4).  $K_x$  на нейтральных точках предплечья правой руки меняется на уровне случайных флуктуаций (рис. 5).

Таким образом, при интеллектуальной нагрузке состояние человека упорядочивается; имеется имплицитивная связь между индуктором и перцепиентом в результате объяснения нового материала; ментальные и эмоциональные центры реагируют по-разному, находятся в противофазе; нейтральная точка никак не реагирует на процессы, связанные с обучением. В период усталости коэффициент хаоса возрастает.

### Заключение

Представленные эксперименты показывают, что влияние информационных потоков на человека можно оценить количественно по показателям изменения коэффициента хаоса до воздействия, во время и в последствии. По ним можно определить степень включаемости учащегося в процесс обучения, степень синхронизации и наличие имплицитивной связи между педагогом и обучающимся, выявить оптимальное время обучения до наступления усталости. Метод может применяться в педагогике для коли-

качественной оценки и качественного анализа усвоения материала при различных методиках преподавания [3]. В дальнейшем планируется провести серию экспериментов с целью доказательства следующих положений.

1. Нарастание потока сообщаемой информации должно быть плавным и начинаться от нуля. Это соответствует тому, что начальная стадия лекции должна быть посвящена постановке задачи, ее комментариям, введению определений и т. п.
2. Наиболее сложный для понимания материал (например, доказательства) следует излагать в конце первого и в основном начале второго часа лекции.
3. Последние 10–15 минут лекции нежелательно посвящать сообщению новой информации, ибо в этот промежуток времени скорость усвоения может принимать отрицательные значения.
4. Крайне нецелесообразно в погоне за максимальным количеством пройденного материала начинать в конце лекции новый раздел или какое-либо доказательство с тем, чтобы продолжить изложение на следующей лекции.

### Литература

1. Агеев И.Л., Дульнев Г.Н., Стражмейстер И.Б. Исследование степени упорядоченности информационных потоков сознания человека. / Биоинформационные и энергоинформационные технологии в производственной, в социальной и в духовной сферах. Т. 2. М., 2005.
2. Дульнев Г.Н. В поисках тонкого мира. СПб: Весь, 2004. 286 с.
3. Потеев М.И. Основы аналитической дидактики. СПб: ЛИТМО, 1992. 167 с.

# ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ДИЗАЙН КАК ЭЛЕМЕНТ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ»

М. В. Хлопотов

В статье анализируется понятие «педагогический дизайн», проводится сравнение терминов «педагогический дизайн» и «педагогическое проектирование». Предлагается рассматривать педагогический дизайн в качестве элемента образовательной программы специальности «Информационные технологии в образовании».

Термин «педагогический дизайн» (от англ. instructional design) в зарубежной литературе появился, очевидно, в 1960-е годы. К настоящему моменту он нашел широкое применение [1–3], в том числе и в нашей стране [4, 5]. Уже началась подготовка специалистов в области педагогического дизайна. Например, она ведется в рамках проекта «Информатизация системы образования», реализуемого Национальным фондом подготовки кадров, а также в Московском государственном институте электроники и математики (техническом университете) (<http://dlc.miem.edu.ru/newsite.nsf/docs/nfjk.html>). В Ставропольском государственном педагогическом институте факультетом дополнительных образовательных программ организованы курсы по повышению квалификации «Основы педагогического дизайна» ([http://www.sspi.ru/dop\\_obraz\\_prog.htm](http://www.sspi.ru/dop_obraz_prog.htm)).

Проанализируем понятие «педагогический дизайн». Сравним термины «педагогический дизайн» и «педагогическое проектирование». Покажем, что педагогический дизайн целесообразно рассматривать в качестве одного из важнейших элементов образовательной программы подготовки инженеров специальности «Информационные технологии в образовании».

Слово *дизайн* (от англ. design – проект, проектировать) в широком смысле означает художественное конструирование предметного мира; разработку образцов рационального построения предметной среды. Слово *проектирование* (от лат. projectus, буквально – брошенный вперед) означает процесс создания проекта-прототипа, прообраза предполагаемого или возможного объекта или состояния.

В узком смысле под словом «дизайн» понимают творческую деятельность, целью которой является определение формальных качеств промышленных изделий, в том числе внешних черт изделия; структурных и функциональных взаимосвязей, превращающих изделие в единое целое с точки зрения как потребителя, так и изготовителя (Глоссарий.ру).

Дизайн возник в начале XX в. как реакция на стихийное формирование визуальных и функциональных свойств предметной среды. Дизайн разрабатывает образцы ее рационального построения, соответствующие сложному функционированию современного общества. Иногда под дизайном понимают лишь одну из его областей – проектирование эстетических свойств изделий. Однако дизайн решает более широкие социально-технические проблемы, в частности те, которые связаны с функционированием производства, потребления, существования людей в предметной среде. Как отмечено в БСЭ, дизайн находится в особом отношении ко всем традиционным видам проектирования, разрешая затруднения, которые связаны с внедрением в жизнь конкретных людей и общества в целом новых предметных организаций, создающих неравновесную ситуацию в предметном мире.

Что касается проектирования, то оно, например, в [6] определяется как деятельность, цель которой – «положить начало изменениям в окружающей человека искусственной среде». Автор работы [6] отмечает, что «в своей жизни мы <...> ежедневно и ежечасно ставим и решаем проектные задачи. Проектирование, видимо, уже стало не

только повседневностью, но и определяющей стилевой чертой нашего сознания и бытия едва ли не во всех сферах».

В статье [7] отмечается, что проектность – актуальнейшая ценность и проблема содержания образования, особый тип и культура мышления, которая должна воспроизводиться и в сфере образования. Постулируется, что образование в течение длительного времени развивалось по двум непересекающимся направлениям – гуманитарно-художественному и научно-техническому, которые существуют теперь как «две культуры».

В статье [8] отмечается существование «третьей культуры» – проектной. Этот особый тип культуры автор предложил называть «Дизайном с большой буквы» и определил как совокупный опыт материальной культуры и совокупный массив опыта, навыков и понимания, воплощенный в искусстве планирования, изобретения, создания и исполнения. Один из выводов, к которым пришел автор статьи [8] – рассматривать дизайн как необходимую составную часть системы общего образования, поскольку он включает в себе фундаментальные методы познания, необходимые во всякой деятельности. Такой вывод ведет не только к пересмотру концепции образования в целом, но и существенно углубляет и расширяет понимание самого дизайна.

Таким образом, идея дизайна тесно связана с идеей непрерывности проектной культуры. В статье [7] предложено реализовывать дизайн как проектировочную дисциплину во всей системе образования, а не только в дизайнерском образовании.

Сегодня в качестве одной из принципиально новых стратегий выступает ориентация образования на овладение будущими специалистами методологией и технологией проектирования объектов профессиональной деятельности. Это обусловлено тем, что проектирование становится универсальным инструментом, позволяющим обеспечить системность, целеориентированность, результативность, гибкость и вариативность во всех сферах деятельности человека. Не является исключением и сфера образования. С этой точки зрения особый интерес представляет формирование проектных знаний и умений у студентов специальности «Информационные технологии в образовании».

Одной из первых публикаций, в которых использован термин «педагогический дизайн», является работа [4], но до сих пор нельзя сказать, что термин прочно вошел в обиход. В литературе встречаются различные определения педагогического дизайна. Проанализируем некоторые из них. К их числу относятся:

- педагогический дизайн – целенаправленный процесс построения педагогических систем [5];
- педагогический дизайн – технология создания учебных ресурсов как для традиционных форм обучения, так и для новых, например, дистанционного обучения [9];
- педагогический дизайн – процесс, предусматривающий применение принципов высокопрофессионального преподавания в разработке, реализации и оценке методов учебной работы по применению информационных технологий в подготовке современного специалиста [10];
- педагогический дизайн – систематическая разработка педагогических спецификаций с использованием учебных и педагогических теорий для обеспечения высокого качества преподавания [11];
- педагогический дизайн – область науки и практической деятельности, основывающаяся на теоретических положениях педагогики, психологии и эргономики, занимающаяся вопросами разработки учебного материала, в том числе на основе информационных технологий и обеспечивающая наиболее рациональный, эффективный и комфортный образовательный процесс [12];
- педагогический дизайн – систематическое использование знаний об эффективной учебной работе в процессе проектирования, разработки, оценки и использования учебных материалов [13].

Если исходить из требований, которым должны удовлетворять определения понятий [14], то основным недостатком приведенных определений является несоизмеримость. Определения [5, 9, 11, 13] не учитывают различия педагогического дизайна и педагогического проектирования. Полезно сравнить эти определения с определением «педагогического проектирования», данным в [15]. Педагогическое проектирование – предварительная разработка основных деталей предстоящей деятельности учащихся и педагогов.

Но основная цель педагогического дизайна – создавать и поддерживать для обучающегося среду, в которой на основе наиболее рационального представления, взаимосвязи и сочетания различных типов образовательных ресурсов обеспечивается психологически комфортное и педагогически обоснованное развитие субъектов образования. Очевидно, что «систематического использования знаний об эффективной учебной работе в процессе проектирования, оценки и использования учебных материалов» недостаточно для достижения основной цели педагогического дизайна.

Определения [10] и [12] не отражают существенных признаков содержания определяемого понятия.

Таким образом, приведенные выше определения требуют дополнения.

В работе [12] отмечены принципы, на которых основывается педагогический дизайн:

- *научности;*
- *непрерывности и преемственности;*
- *доступности науки;*
- *наглядности;*
- *зримости мышления;*
- *эргономичности.*

Под научностью понимается использование теоретически обоснованных и проверенных на практике приемов и методов организации учебного материала. Под непрерывностью и преемственностью понимается обеспечение согласованности учебных курсов, порядков, правил и средств их освоения. Принцип доступности науки предполагает обеспечение доступности научных знаний и используемости их обучающимся; уровень сложности знаний должен находиться в зоне ближайшего развития обучающихся. Под наглядностью понимается оправданное использование при обучении максимального числа каналов восприятия информации обучающимся. Принцип зримости мышления заключается в учете психологии восприятия и обучения, обеспечении отражения хода процесса познания. Под эргономичностью понимается обеспечение для обучающихся удобства и комфортности восприятия информации.

Рассмотрим различие понятий «педагогическое проектирование» и «педагогический дизайн».

В [16] отмечается, что педагогическое проектирование является отраслью социального проектирования и может быть представлена как деятельность, направленная на преобразование и создание объектов педагогической природы с целью системного и эффективного решения задач обучения и воспитания личности. Субъектом педагогического проектирования выступает педагог, объектом – педагогические системы, процессы и их компоненты, целью – решение педагогических задач, результатом – проект педагогического объекта.

Педагогический дизайн – это особый вид творческой деятельности, он не является отраслью социального проектирования. В отличие от педагогического проектирования, педагогический дизайн как художественное конструирование предметной среды основывается на закономерностях эстетики – раздела философии, изучающего художественную деятельность людей. Субъектом педагогического дизайна выступает педагогический дизайнер или инженер специальности «Информационные технологии в образо-

вании», объектом – обучающая среда (в частном случае, виртуальная образовательная среда), целью – формирование и поддержание такой обучающей среды, результатом – рационально построенная среда обучения.

Можно выделить и различия в средствах. Основным средством педагогического дизайна являются современные информационные технологии.

Таким образом, педагогический дизайн – это творческая деятельность, направленная на художественное конструирование, преобразование и сопровождение обучающей среды. Педагогический дизайн основывается на теоретических положениях теории проектирования, педагогики, психологии, эстетики и эргономики.

Так понимаемый педагогический дизайн целесообразно рассматривать как элемент подготовки инженеров специальности «Информационные технологии в образовании». Работа специалистов по разработке и сопровождению информационно-образовательных ресурсов связана с проектированием электронных образовательных ресурсов, которые впоследствии станут частью виртуальной образовательной среды.

В самом деле, упомянутая программа включает следующие дисциплины: «Проектирование информационных систем в образовании», «Дистанционные технологии в образовании» [17]. Эти дисциплины являются ключевыми в подготовке специалистов по проектированию и сопровождению информационных образовательных ресурсов.

К основным дидактическим единицам дисциплины «Проектирование информационных систем в образовании» относятся:

- разработка пользовательского интерфейса;
- анализ и оценка производительности ИСО.

Необходимо дополнить и расширить содержание дидактической единицы *разработка пользовательского интерфейса* с точки зрения педагогического дизайна, а также дополнить его дидактической единицей *анализ и оценка дизайна ИСО*.

К основным дидактическим единицам дисциплины «Дистанционные технологии в образовании» относятся:

- электронные учебники: структура, проектирование и программная реализация, научно-методические основы применения;
- методические вопросы подготовки материалов для дистанционной технологии образования.

В дидактической единице *электронные учебники: структура, проектирование и программная реализация, научно-методические основы применения* необходимо выделить также научно-методические основы создания электронных учебников. Необходимо подчеркнуть, что содержание дидактической единицы *методические вопросы подготовки материалов для дистанционной технологии образования* затрагивает основные принципы педагогического дизайна.

## Литература

1. Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory. Vol. II. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1999
2. Instructional Technology: Foundation. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1987.
3. Smith P.L., Ragan T. Instructional design. New York: John Wiley & Sons, 1999.
4. Уваров А.Ю. Электронный учебник: теория и практика. М., 1999. 220 с.
5. Интернет-обучение: технологии педагогического дизайна. / Под ред. М.В. Моисеевой. М. 216с.
6. Джонс Дж. К. Методы проектирования: Пер. с англ. М., 1986. 326 с.
7. Сидоренко В. Ф. Дизайн – образ культуры. // Вестн. высш. шк. 1989. №12. С. 37–45.
8. Archer B. The three Rat. // Design Studies. Vol. 1. 1979. №1.

9. Лаптев В.В., Рыжова Н.И., Шуклин Д.А. Концепция подготовки специалиста в области педагогического Web-дизайна. / XIV конференция-выставка «Информационные технологии в образовании»: Сборник трудов участников конференции. Часть II. МИФИ. М, 2004
10. Оганесянц Н.А. Педагогический дизайн и информационно-коммуникационные технологии по специальности PR. / История и философия культуры: Актуальные проблемы: Сборник научных трудов. Вып. 8. Под ред. С. В. Архипова. Владикавказ: Издательство Северо-Осетинского государственного университета, 2005.
11. Нежурина М.И., Моисеева М.В. Методические подходы к организации системы многоуровневой подготовки специалистов в области педагогического дизайна. / Труды XI Всероссийской научно-методической конференции «Телематика-2004». СПб, 2004.
12. Кречетников К.Г. Педагогический дизайн и его значение для развития информационных образовательных технологий. / Материалы XVI Международной конференции «Применение новых технологий в образовании». Троицк, 2005.
13. Уваров А.Ю. Об условиях успешного использования цифровых образовательных ресурсов в учебном процессе. / Труды XI Всероссийской научно-методической конференции «Телематика-2004». СПб, 2004.
14. Горский Д.П. Определение (логико-методологические проблемы). М., 1974. 311 с.
15. Безрукова В.С. Педагогика. Проективная педагогика. Учебное пособие для инженерно-педагогических институтов и индустриально-педагогических техникумов. – Екатеринбург, 1996. 344 с.
16. Тарасюк О.В. К вопросу о педагогическом проектировании. / Профессиональная педагогика: категории, понятия, дефиниции: Сб. науч. тр. Вып. 1. Отв. ред. Г.Д. Бухарова.. Екатеринбург, 2003. С. 142–162
17. Потеев М. И. Информационные технологии в образовании: Введение в специальность. Учебное пособие. СПб, 2005. 196 с.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИН ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Г.В. Котелкова, А.В. Маягин

*Современное психологическое образование нуждается  
в разработке новых активных методов обучения психологии...  
Герасимова В.С. Методика преподавания психологии*

Психологические дисциплины в высшей школе всегда требовали использования специальных методик обучения. В первую очередь это связано с предметом обучения – гуманитарным знанием, не передающимся только в качестве текстов, но требующим формирования и личной рефлексии в процессе тренингов и других форм предметно-направленного общения. Другой причиной является необходимость учета в образовательном процессе индивидуальных особенностей каждого студента, что, в частности, делает ряд практических занятий эффективными только при проведении в очень маленьких группах. При преподавании психологических дисциплин для специальностей естественнонаучного и технического профиля появляются дополнительные трудности, связанные с тем, что эти дисциплины не являются профилирующими, и, как следствие, на их изучение часто отводится незначительное по сравнению с объемом подлежащего изучению материала количество часов аудиторных занятий. И если теоретическую подготовку в этом случае можно провести достаточно успешно, то требования к эффективности практических занятий выполнить в рамках использования традиционных педагогических технологий весьма затруднительно.

Один из путей решения данной проблемы видится в использовании новых подходов в обучении, основанных на телекоммуникационных технологиях. Развитие информационных технологий и их применения в педагогике привело к появлению целого ряда новых подходов, таких как электронное и дистанционное обучение.

Использование компьютеров и компьютерных сетей как средств обучения имеет ряд существенных преимуществ. Так в [8, стр. 21] отмечается, что системы дистанционного образования дают равные возможности школьникам, студентам, гражданским и военным специалистам, безработным в любых районах страны и за рубежом реализовать права человека на образование и получение информации. Именно эта система может наиболее адекватно и гибко реагировать на потребности общества и обеспечивать реализацию конституционного права на образование каждого гражданина страны. Традиционными достоинствами обучения с использованием компьютерных и сетевых технологий\* являются:

- доступность источников информации, в том числе тех, которые недоступны в другой форме;
- стимулирование интереса и мотивации обучающихся;
- использование и создание средств повторения, обобщения, систематизации и контроля знаний;
- создание условий для реализации творческого потенциала и инициативности обучающихся;
- возможность отображения динамики процессов, явлений и т.д.;

---

\* Сетевые технологии - доступ к учебным материалам и консультации с преподавателями проводятся с помощью телекоммуникационных технологий и вычислительных сетей. Как правило, в качестве сети используется Internet, и сетевую технологию называют Internet-технологией (или Web-технологией). [6, с.136]

- экономия времени;

Однако некоторыми исследователями отмечаются и определенные недостатки данных нововведений [3], в частности социальное неравенство (покупка техники и оплата телекоммуникационных услуг требует вложения денежных средств), снижение социализации, а также:

- опасность подавления межличностного общения, так как понижается количество и качество личных контактов;
- ослабление способностей к самостоятельному творческому мышлению, так как компьютерным обучающим программам свойственна так называемая дигитализация – приспособление мышления человека к определенным правилам и моделям, ориентация на формальные логические структуры, замена многозначности на формальную однозначность, на реализацию операций, имеющих несколько условий и предполагающих только один вывод;
- отсутствие прямого исследования действительности, так как ученик получает знания, опосредованные познанием разработчиков программ;
- пассивность усвоения информации, так как у создателей программ есть стремление сделать усвоение материала простым и нетрудоемким.

При этом целями преподавания психологии для специальностей естественнонаучного, технического, строительного профиля являются [2]:

- формирование у студентов представления о системе психологических знаний, о психологии как научной дисциплине и практической деятельности;
- знакомство с методами;
- обучение студентов психологии как средству познания других людей;
- обучение студентов психологии как средству самопознания;
- обучение студентов психологии как средству саморазвития.

Очевидно, что эти цели оказываются несовместимыми с перечисленными выше недостатками компьютерных и сетевых технологий обучения, что делает затруднительным их прямое использование в этой дисциплине. Также не выполняются такие принципы, как:

- развивающий характер обучения;
- связь полученных знаний с жизнью, с применением в реальной жизненной практике;
- активность обучающихся.

Сложившееся противоречие можно решить, если вместо реализации традиционных методов обучения средствами сетевых технологий использовать активные методы, которые могут компенсировать недостатки сетевых технологий. В этом случае активные методы обучения призваны активизировать, развить познавательные и креативные способности обучающихся. При этом, если применение традиционных методов с использованием компьютерных и телекоммуникационных технологий уже отчасти проработано, для него определен инструментарий, то для активных методов обучения все только начинается.

Для решения указанных проблем не подходят автоматизированные системы обучения, обычные электронные учебники и ЭУМК, а также информационно-справочные системы. Как отмечается в [5, с. 83], «...информатизация не должна вести к сокращению возможностей простого человеческого общения за счет увеличения доли и роли обезличенной информации».

Также в современных условиях не получили большой популярности средства, требующие использования особого оборудования, создания специальных студий, больших материальных затрат – интерактивное ТВ, аудиотрансляции, демонстрация учебных фильмов и другие.

Наибольшее распространение для организации обучения получили Интернет-технологии, делящиеся на синхронные (требующие одновременного использования всеми участниками образовательного процесса) и асинхронные [8].

Необходимость одновременной работы и стабильного сетевого трафика стали очевидными трудностями на пути использования синхронных технологий, поэтому остановимся подробнее на асинхронных Интернет-технологиях (табл. 1).

Таблица 1

Технологии	Обычное использование	Особенности
www	Используются чаще всего для создания автоматизированных учебных курсов	Удобно в использовании, но невозможно реализовать эффективный образовательный процесс без участия в нем преподавателя
ftp	Передача файлов, учебных материалов больших размеров	Применяется только в качестве вспомогательной технологии
e-mail	Обмен сообщениями, материалами	Продуктивно для межличностного общения, сложно реализовать одновременное общение преподавателя и группы обучающихся. Для эффективного использования требует наличия специальных сервисов или почтовых программ
forum	Используется для организации обсуждений, дискуссий, создания новостных досок	В отличие от электронной почты, не требует специального программного обеспечения, можно реализовать общение большого числа обучающихся

Форумы являются одной из самых молодых Интернет-технологий и имеют значительный потенциал. Как уже было указано, с их помощью обычно реализуются обсуждения, дискуссии (активные методы обучения [8]), а также семинары, консультации. В принципе возможно даже организовать публичные лекции.

Одним из популярных активных методов обучения являются деловые игры, призванные развивать мыслительные способности обучающихся, моделировать содержание будущей профессиональной деятельности, стимулировать творческую и познавательную активность [1]. Для реализации этого метода посредством Интернет технологий традиционно используются такие технологии, как e-mail, ICQ и чаты, но все эти технологии имеют свои недостатки (табл. 2.)

Таблица 2

Технология	Недостатки
e-mail	Сложно реализовать одновременное общение группы лиц
ICQ	Необходимо использовать специальный клиент, невозможно выделить и поддерживать роли участников игры
чат	Требуется одновременное присутствие всех участников и постоянный контроль со стороны преподавателя

Использование в качестве Интернет-технологии для реализации деловой игры форума позволяет избежать указанных недостатков. Конечно, форум сам по себе, в классической его форме, не способен создать комфортные условия реализации деловых игр и требует создания на своей основе ряда надстроек, реализующих функциональности, необходимые участникам образовательного процесса. Анализ существующих тематических форумов и составление сценариев деловой игры по психологии позволил сформулировать следующие роли, их функции и возможности (табл. 3).

Таблица 3

Роль	Функции, возможности
Администраторы сайта	<p>неограниченные права;  конфигурирование всей системы;  работа с базой данных, хранящей всю информацию о системе;  управление форумами – создание, изменение, удаление, настройка прав доступа к ним;  управление группами пользователей – создание, включение пользователей в группы и исключение из них, назначение группам прав;  управление внешним видом, дизайном форума;  управление пользователями – создание новых пользователей, управление настройками для них, создание рангов для пользователей, назначение прав доступа;  создание и просмотр расширенных результатов опросов;  могут создавать сообщения, редактировать и удалять все сообщения.</p>
Преподаватель, лаборанты	<p>имеют статус администратора с ограниченными правами. Основные функции – управление пользователями и деятельностью участников;  управление форумами – создание, изменение, удаление, настройка прав доступа к ним;  управление группами пользователей – создание, включение пользователей в группы и исключение из них, назначение группам прав;  управление пользователями – создание новых пользователей, управление настройками для них, создание рангов для пользователей, назначение прав доступа;  создание и просмотр расширенных результатов опросов;  могут создавать сообщения, редактировать и удалять все сообщения.</p>
Модераторы	<p>обучающиеся, наделенные определенными полномочиями в зависимости от многоуровневости и сценария игры;  основная функция – следить за соблюдением порядка при общении, за выполнением правил;  могут создавать сообщения, редактировать и удалять не только свои сообщения, но и сообщения других пользователей (кроме всех администраторов);  их действия с сообщениями других лиц хранятся в системе для решения конфликтных ситуаций;  у них нет возможности управлять другими пользователями, только сообщать о нарушениях правил преподавателю и лаборантам;  создание и просмотр общих результатов опросов.</p>
Обычные пользователи	<p>общение и обучение с помощью предоставленных им сервисов;  изменение только некоторых личных настроек;  могут редактировать только свои сообщения;  создание и просмотр общих результатов опросов.</p>

Отдельно стоит отметить, что одной из главных проблем при организации учебного процесса как off-line, так и on-line является проблема формирования и поддержания мотивации [4] обучающихся на необходимом уровне на протяжении всего времени

взаимодействия преподавателя и студентов. Для решения этой проблемы функциональность форума может быть расширена биллинговым модулем, поддерживающим систему баллов, которые будут начисляться обучающимся за ту или иную активность. Оценка работы обучающегося на форуме может быть интегрирована в общую рейтинговую систему оценивания, т.е. заработанные на форуме баллы будут добавляться к сумме баллов, полученных на занятиях, проводимых по традиционным методикам.

Таким образом, использование форума как реализующей активные методы обучения образовательной Интернет-технологии, при условии его технической модернизации и создания необходимого организационно-методического обеспечения, может позволить решить проблему организации практических занятий по психологическим дисциплинам для специальностей естественнонаучного и технического профиля в условиях нехватки аудиторных занятий и необходимости индивидуализации обучения.

### Литература

1. Герасимова В.С. Методика преподавания психологии: Курс лекций. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Ось-89, 2005. 128с.
2. Каранашев В.Н. Методика преподавания психологии: Учебное пособие. СПб: Питер, 2006. 250 с.
3. Коджаспирова Г.М. Технические средства обучения и методика их использования: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г.М. Коджаспирова, К.В. Петров. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 352 с.
4. Кочеткова А.И. Психологические основы современного управления персоналом. М.: Издательство «Зерцало», 1999. 384 с.
5. Краевский В.В. Общие основы педагогики / Учеб. для студ. высш. пед. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 256 с.
6. Норенков И.П., Зимин А.М. Информационные технологии в образовании. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 352 с.: ил.
7. Психология. Учебник для технических вузов / Под общ. ред. В.Н. Дружинина. СПб: Питер, 2000. 608 с.
8. Ширшов Е.В. Организация учебной деятельности в вузе на основе электронных информационно-образовательных технологий: монография / Е.В. Ширшов, Е.В. Ефимова. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2006. 208 с.

**Акимов Станислав Сергеевич** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры технологий профессионального обучения

**Александров Григорий Сергеевич** – студент кафедры проектирования компьютерных систем

**Богданцев Андрей Сергеевич** – студент кафедры технологий профессионального обучения

**Боголюбов Данила Александрович** – студент кафедры проектирования компьютерных систем

**Будько Марина Борисовна** – аспирант кафедры МиПЧС

**Бутров Сергей Сергеевич** – студент кафедры технологий профессионального обучения

**Валитова Юлия Олеговна** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры технологий профессионального обучения

**Васильев Владимир Николаевич** – доктор технических наук, профессор, ректор

**Вергезова Светлана Михайловна** – аспирант кафедры технологий профессионального обучения

**Виноградов Юрий Николаевич** – соискатель кафедры информатики и прикладной математики.

**Воскресенский Станислав Игоревич** – аспирант кафедры безопасных информационных систем

**Гатчин Юрий Арменакович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования компьютерных систем

**Гомонов Илья Сергеевич** – сотрудник теоретического отдела ОАО НПК «Высокие технологии»

**Гордеева Наталия Олеговна** – аспирант кафедры технологий профессионального обучения

**Горлушкина Наталия Николаевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий профессионального обучения

**Григорьев Алексей Владимирович** – соискатель кафедры информатики и прикладной математики

**Громов Геннадий Юрьевич** – старший преподаватель кафедры вычислительной техники

**Демин Анатолий Владимирович** – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и прикладной математики

**Дорожкин Антон Константинович** – аспирант кафедры вычислительной техники

**Дульнев Геннадий Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга

**Егоров Сергей Викторович** – аспирант кафедры проектирования компьютерных систем

**Елисеев Олег Валерьевич** – студент кафедры проектирования компьютерных систем

**Захаров Денис Дмитриевич** – студент кафедры измерительных технологий и компьютерной томографии

**Зверев Александр Константинович** – аспирант кафедры информатики и прикладной математики

**Зеленская Ольга Витальевна** – заместитель начальника отдела по внеучебной работе

**Зыков Анатолий Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и прикладной математики

**Иванова Наталия Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования компьютерных систем

**Ильина Лариса Петровна** – ведущий научный сотрудник теоретического отдела ОАО НПК «Высокие технологии»

**Кармановский Николай Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования компьютерных систем

**Кессель Сергей Владимирович** – аспирант кафедры технологий профессионального обучения

**Кириллов Владимир Васильевич** – кандидат технических наук, профессор кафедры вычислительной техники

**Климанов Виталий Александрович** – аспирант кафедры проектирования компьютерных систем

**Ковтун Лев Игнатьевич** – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»

**Ковязин Рустам Раисович** – магистр математики, ведущий программист ООО «ЛМТ»

**Ковязина Динара Раисовна** – студентка кафедры вычислительной техники

**Корнеев Георгий Александрович** – аспирант кафедры компьютерных технологий

**Коробейников Анатолий Григорьевич** – доктор технических наук, профессор кафедры проектирования компьютерных систем

**Котелкова Галина Олеговна** – студентка аспирант кафедры технологий профессионального обучения

**Крылов Борис Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования компьютерных систем

**Курносенков Илья Николаевич** – аспирант кафедры вычислительной техники

**Лапшина Ирина Анатольевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры СОПиК

**Лисицына Любовь Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой компьютерных образовательных технологий

**Любимов Александр Вилиевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасных информационных технологий

**Лямин Андрей Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных образовательных технологий

**Малинин Алексей Анатольевич** – ассистент кафедры проектирования компьютерных систем

**Мануйлов Константин Викторович** – руководитель теоретического отдела ОАО НПК «Высокие технологии»

**Маятин Александр Владимирович** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационных систем

**Медведева Татьяна Сергеевна** – студентка кафедры технологий профессионального обучения

**Минакова Наталья Александровна** – специалист проектно-аналитического отдела управления по защите информации ЗАО «Комита»

**Молчанов Валентин Александрович** – выпускник кафедры вычислительной техники

**Муромцев Дмитрий Ильич** – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования компьютерных систем

**Немолочнов Олег Фомич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики и прикладной математики

**Неронов Юрий Ильич** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры измерительных технологий и компьютерной томографии

**Несмачный Денис Витальевич** – аспирант кафедры измерительных технологий и компьютерной томографии

**Нестерук Геннадий Филиппович** – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасных информационных технологий

**Нестерук Леся Геннадиевна** – кандидат экономических наук, ассистент кафедры информатики Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов

**Нестерук Филипп Геннадьевич** – ассистент кафедры безопасных информационных технологий

**Ожиганов Александр Аркадьевич** – доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники

**Осовецкий Леонид Георгиевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасных информационных технологий

**Павловская Татьяна Александровна** – кандидат технических наук, профессор кафедры информатики и прикладной математики

**Панфёров Андрей Анатольевич** – генеральный директор ОАО НПК «Высокие технологии»

**Папченко Борис Петрович** – старший научный сотрудник кафедры проектирования компьютерных систем

**Петров Евгений Владимирович** – студент кафедры вычислительной техники

**Петров Кирилл Владимирович** – аспирант кафедры информатики и прикладной математики

**Поляков Владимир Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и прикладной математики

**Постников Николай Павлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники

**Потеев Михаил Иванович** – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий профессионального обучения

**Проценко Евгений Александрович** – аспирант кафедры безопасных информационных технологий

**Птицын Алексей Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасных информационных технологий

**Романова Ева Борисовна** – старший преподаватель кафедры проектирования компьютерных систем

**Сергеева Елена Александровна** – программист Центра дистанционного обучения

**Сизиков Валерий Сергеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры измерительных технологий и компьютерной томографии

**Силич Надежда Геннадьевна** – студент кафедры физики

**Симоненко Зинаида Григорьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и прикладной математики

**Скворцов Альберт Матвеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры проектирования компьютерных систем

**Скорубский Владимир Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники

**Смирнов Александр Витальевич** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики

**Смирнов Юрий Владимирович** – студент кафедра проектирования компьютерных систем

**Соколов Владимир Иванович** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией диффузии и дефектообразования в полупроводниках ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

**Соколов Дмитрий Юрьевич** – аспирант кафедры измерительных технологий и компьютерной томографии

**Сорокин Александр Васильевич** – соискатель кафедры информатики и прикладной математики

**Сорокина Ирина Сергеевна** – студентка кафедры технологий профессионального обучения

**Стражмейстер Ирина Борисовна** – старший преподаватель кафедры технологий профессионального обучения

**Таяновская Юлия Борисовна** – ассистент кафедры проектирования компьютерных систем

**Ткалич Вера Леонидовна** – доктор технических наук, профессор кафедры проектирования компьютерных систем

**Тропченко Андрей Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники

**Тропченко Александр Ювеналевич** – доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники

**Федоров Борис Александрович** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики

**Халецкий Роман Александрович** – старший преподаватель кафедры проектирования компьютерных систем

**Хлопотов Максим Валерьевич** – ассистент кафедры технологий профессионального обучения

**Хмылко Федор Вадимович** – начальник технического отдела ООО «МБ-Инфо»

**Черемисин Алексей Георгиевич** – магистрант кафедры вычислительной техники

**Шалыто Анатолий Абрамович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий программирования

**Шарков Николай Александрович** – магистрант кафедры вычислительной техники

**Шемплинер Владимир Владимирович** – студент кафедры измерительных технологий и компьютерной томографии

**Шилов Игорь Валерьевич** – аспирант кафедры проектирования компьютерных систем

**Штенников Дмитрий Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных образовательных технологий

**Щекотин Дмитрий Сергеевич** – ассистент кафедры измерительных технологий и компьютерной томографии

**Яковлев Юрий Александрович** – аспирант кафедры информатики и прикладной математики

# СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>1. Сети ЭВМ и информационные технологии .....</b>	<b>3</b>
Громов Г.Ю., Кириллов В.В. О выборе архитектуры корпоративной информационной системы.....	3
Дорожкин А.К. Определение эффективной частоты обновления данных в OLAP системах .....	10
Курносенков И.Н., Тропченко А.Ю. Анализ современных стандартов сжатия видеоданных .....	17
Молчанов В.А., Тропченко А.А. Особенности сжатия цветных изображений JPEG-подобными алгоритмами.....	22
Ковтун Л.И., Шарков Н.А. Модельный подход к прогнозированию жизненного цикла структурно сложных человеко-машинных систем .....	27
Будько М.Б. Алгоритм определения речевой активности и генератор комфортного шума высокого быстродействия .....	37
<b>2. Информационно-управляющие системы .....</b>	<b>44</b>
Черемисин А.Г. Оценка эффективности применения ПЛИС и процессоров DSP для задач цифровой обработки сигналов .....	44
Ковязина Д.Р., Петров Е.В. Применение мультимедийных карт во встраиваемых системах .....	48
Ковязин Р.Р., Постников Н.П. Создание локальных регуляторов на базе виртуальной машины с динамическим набором инструкций .....	55
Скорубский В.И., Хмылко Ф.В. Конвейерное исполнение конечных автоматов .....	63
Корнеев Г.А., Шалыто А.А. Язык описания визуализаторов алгоритмов .....	68
<b>3. Теория и технология программирования и защиты информации .....</b>	<b>75</b>
Любимов А.В. Модели угрозы в методологии общих критериев .....	75
Осовецкий Л.Г., Минакова Н.А. Оценка уровней критичности сегментов сетей связи и систем коммутации.....	83
Нестерук Ф.Г., Нестерук Л.Г., Воскресенский С.И., Нестерук Г.Ф. Обеспечение избыточности информационных полей адаптивных классификаторов для систем защиты информации .....	89
Проценко Е.А. Организация и структура информационного законодательства в системе обеспечения информационной безопасности России .....	95
Птицын А.В. Модели процесса обнаружения угроз при доступе к ресурсам кластерной системы .....	102
Павловская Т.А., Яковлев Ю.А. Метод учета реализуемости путей управляющего графа программы при построении их базисного набора.....	108
Немолочнов О.Ф., Зыков А.Г., Поляков В.И., Петров К.В. Моделирование простых логических неисправностей вычислительных процессов программ.....	113
Дёмин А.В., Сорокин А.В., Григорьев А.В., Виноградов Ю.Н. Моделирование воздействия на систему внешних возмущений .....	119
Демин А.В., Зверев А.К. Моделирование систем в квазипараллельном режиме .....	122
Немолочнов О.Ф., Зыков А.Г., Поляков В.И., Петров К.В. Учебно-исследовательская САПР верификации и тестирования вычислительных процессов программ .....	127
<b>4. Измерительные технологии и компьютерная томография.....</b>	<b>129</b>
Неронов Ю.И., Сизиков В.С., Соколов Д.Ю. Формирование высокооднородного поля постоянного магнита МР-томографа.....	129
Захаров Д.Д., Сизиков В.С., Шемплинер В.В., Щекотин Д.С. Новые способы устранения артефактов на томографических и иных изображениях .....	138

Захаров Д.Д., Сизиков В.С., Смирнов А.В., Федоров Б.А. Решение двухмерной коллимационной задачи рассеяния рентгеновских лучей с использованием нестандартных интегральных уравнений .....	144
Мануйлов К.В., Гомонов И.С. Движение тяжелого (деформируемого) твердого тела около неподвижной точки в общем случае .....	154
Панферов А.А., Ильина Л.П. Вращение деформируемой эллипсоидальной оболочки, заполненной сжимаемой жидкостью, около неподвижного центра тяжести .....	159
Мануйлов К.В., Несмачный Д.В. Аналитическое описание движения маятника под действием сил сопротивления .....	165
Мануйлов К.В. Об обтекании твердого тела, ограниченного известной алгебраической поверхностью, потоком сплошной среды .....	169
<b>5. Автоматизация проектирования, технология элементов и узлов компьютерных систем.....</b>	<b>174</b>
Скворцов А.М., Соколов В.И., Халецкий Р.А. Исследование гистерезиса вольт-емкостных характеристик структур кремний-окисел с поликремниевым затвором при воздействии ионизирующего излучения.....	174
Соколов В.И., Скворцов А.М., Халецкий Р.А., Смирнов Ю.В. Деграция структур Si-SiO <sub>2</sub> с поликремниевым затвором при гамма-облучении в зависимости от напряжения смещения.....	180
Егоров С.В. Информационная модель комплекса управления подвижными объектами .....	184
Иванова Н.Ю., Малинин А.А., Романова Е.Б. Метод инвариантного анализа изображений, заданных в векторной форме.....	188
Кармановский Н.С., Александров Г.С., Елисеев <b>О.В.</b> Современный метод учета на предприятии: система автоматизированного учета измерительного оборудования .....	193
Муромцев Д.И. Методика преподавания технологии экспертных систем с использованием оболочки EXSYS Covid .....	199
Кармановский Н.С., Боголюбов Д.А. Интерпретация результатов расчетов тепловых режимов ЭВС в приложении COSMOSWorks .....	202
Симоненко З.Г. Параметрический анализ информационно-измерительной системы для исследования параметров массопереноса в сплошных средах.....	206
Ткалич В.Л., Гатчин Ю.А., Коробейников А.Г., Папченко Б.П. Программно-аппаратный комплекс производственно-технологического контроля качества микро- и наноэлементной базы электроники .....	213
Иванова Н.Ю., Романова Е.Б., Таяновская Ю.Б. Метод специализации моделей на определенный класс изделий при автоматизированном проектировании .....	224
Симоненко З.Г., Ткалич В.Л. Содержательные аспекты УИРС .....	227
Крылов Б.А. Система автоматизированного синтеза предметно-ориентированных процедур.....	232
Ожиганов А.А., Коробейников А.Г., Климанов В.А. Структура системы автоматизированного проектирования рекурсивных кодовых шкал.....	237
Шилов И.В., Силич Н.Г., Маятин А.В. Анализ подходов к каталогизации графической информации технологического назначения.....	245
<b>6. Новые образовательные технологии.....</b>	<b>249</b>
Штенников Д.Г. Применение элементов FLEX-технологий в образовательных проектах .....	249
Васильев В.Н., Лисицына Л.С., Лямин А.В. Сетевое сообщество на основе методического Интернет-центра: первый опыт создания и перспективы развития .....	254

<b>7. Информационные технологии в образовании .....</b>	<b>260</b>
Акимов С.С. Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Учебно-исследовательская работа студентов» .....	260
Бутров С.С., Горлушкина Н.Н., Сорокина И.С. Студенческое самоуправление как инновационная форма воспитательной работы в вузе.....	263
Валитова Ю.О., Горлушкина Н.Н. Организация самостоятельной работы студентов с ориентацией на формирование профессиональной мобильности выпускников ....	268
Вергезова С.М. Особенности и перспективы использования электронных учебно-методических комплексов .....	273
Горлушкина Н.Н., Гордеева Н.О. Опыт преподавания дисциплины «Педагогические программные средства» и предложения по его совершенствованию.....	277
Зеленская О.В., Горлушкина Н.Н. Организационно-методические аспекты проведения «Дня карьеры» .....	280
Кессель С.В., Потеев М.И. Использование технологий дистанционного обучения в профессиональном ИТ-консультировании .....	284
Лапшина И.А., Медведева Т.С. О совершенствовании сайта газеты «Университет ИТМО» на портале университета.....	288
Потеев М.И., Горлушкина Н.Н. Структурно-динамическая модель подготовки инженеров специальности «Информационные технологии в образовании» и пути ее оптимизации .....	291
Сергеева Е.А. Роль педагогического дизайна в создании электронных образовательных ресурсов.....	296
Дульнев Г.Н., Стражмейстер И.Б., Богданцев А.С. О возможностях и перспективах исследования процесса обучения человека регистрацией изменения в нем энергоинформационных потоков .....	298
Хлопотов М.В. Педагогический дизайн как элемент подготовки будущих инженеров специальности «Информационные технологии в образовании».....	305
Котелкова Г.О., Маятин А.В. Использование сетевых технологий в изучении дисциплин психологического цикла для специальностей естественнонаучного и технического профиля .....	310
<b>НАШИ АВТОРЫ.....</b>	<b>315</b>

**Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО.** Выпуск 32.  
Информационные технологии: теория, методы, приложения / Главный редактор д.т.н., проф. В.Н. Васильев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. 322 с.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК СПбГУ ИТМО**  
**Выпуск 32**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:  
ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ, ПРИЛОЖЕНИЯ**

Главный редактор  
доктор технических наук, профессор  
В.Н. Васильев

Дизайн обложки В.А. Петров, А.А. Колокольников  
Редакционно-издательский отдел СПбГУ ИТМО  
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99.

Подписано в печать 18.05.06.

Заказ 977. Тираж 100 экз.