

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

# **АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**



**Санкт-Петербург**

**2012**

**Альманах научных работ молодых ученых.** – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 348 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на ХLI научной и учебно-методической конференции НИУ ИТМО, а также на научно-практической конференции «наследие М.В. Ломоносова. современные проблемы науки и техники, решаемые молодыми учеными НИУ ИТМО»,. Представлены работы победителей конкурсов «Молодые ученые НИУ ИТМО» и «Ученый года-2011»

**ISBN 5-7577-0406-7**



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2012

© Авторы, 2012

**НАУЧНЫЕ РАБОТЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
XLI научной и учебно-методической конференции  
НИУ ИТМО**

УДК 681.7

## ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО КОСМИЧЕСКИМ РАДИОТЕЛЕСКОПАМ

М.Г. Акопян, Л.М. Менделеева

В статье описаны современные проблемы и перспективы изучения космического пространства. Сделан анализ имеющихся наработок по тематике космических телескопов. Также описан диапазон длин волн, в котором возможно изучение таких космических объектов.

**Ключевые слова:** Космос, телескоп, радиооптика, космические объекты, радиотелескоп.

### Введение

Современный мир – это мир исследований и находок. Где еще может быть больше пространства и времени для полета фантазии любого первооткрывателя и научного деятеля как не в космосе?! Несмотря на то, что человечество тратит очень много времени и средств на изучение загадочного космического пространства, мы не можем дать однозначных ответов даже на, казалось бы, элементарные вопросы, касающиеся космоса. Практически каждый день в новостях в той или иной степени упоминается космос или космические объекты, очень часто делаются важные открытия, но все равно объект исследования настолько велик, что человечеству еще не хватило времени изучить данный вопрос фундаментально. В настоящей статье предлагается пока еще не столь фундаментальное, но все же в какой-то степени возможное решение задачи неизведанности Вселенной. Развитие мысли может дать много ответов, в том числе и на те вопросы, которые еще не успели сформироваться из-за отсутствия достаточной информации.

### Диапазон исследований

Изучение всей «открытой» информации про существующие и планируемые к запуску в ближайшем будущем телескопы подтолкнуло к выводу о том, что охваченный диапазон спектра электромагнитного излучения не может предоставить всей нужной информации о космосе и космических объектах, необходимой для комплексного изучения вселенной. Для более подробного изучения космоса нужен телескоп, который смог бы проводить исследования астрономических объектов в миллиметровом, субмиллиметровом и дальнем инфракрасном диапазонах спектра электромагнитного излучения. Объектами исследования телескопа могли бы стать Солнечная система, звезды, экзопланеты, Млечный путь и галактики, космологические исследования и исследования компактных объектов Вселенной. Решение данной задачи позволило бы охватить диапазон спектра от 20 микрометров до 20 миллиметров. Этот диапазон является уникальным для астрономических исследований:

- в нем расположен максимум реликтового космологического излучения – единственный вид излучения, сохранившийся после начального взрыва нашей Вселенной; изучение его пространственной структуры, спектра и поляризации позволят исследовать многие наиболее значимые проблемы физики и астрофизики (космологическую модель, появление и эволюцию первых объектов, параметры темной материи и энергии);
- в нем расположено основное излучение твердого вещества в космосе, т.е. наиболее холодных объектов Вселенной, что позволяет проводить исследования эволюции межзвездной среды в процессе гравитационного сжатия с остыванием, приводящего к образованию звезд и планетных систем, а затем к возникновению жизни и цивилизаций;



- этот диапазон более прозрачен по сравнению как с более коротковолновым (поглощение межзвездной пыли), так и более длинноволновым (синхротронное самопоглощение, тепловое поглощение плазмы, рассеяние на неоднородностях плазмы).

Большая часть выбранного диапазона длин волн недоступна для наблюдений с поверхности Земли.

Выбранный диапазон длин волн предоставляет широкие перспективы для спектральных исследований линий атомов и молекул межзвездной среды, а также для высокочувствительных наблюдений дискретных источников в непрерывном спектре и для поляриметрических измерений. В этот диапазон попадает излучение самых далеких объектов из-за космологического красного смещения, и исследование таких объектов, связанных со сверхмассивными черными дырами, позволит извлечь информацию, чрезвычайно важную для космологии и внегалактической астрономии. В диапазоне миллиметровых и субмиллиметровых волн яркостная температура неба оказывается минимальной (определяется температурой реликтового фона в 2.73 К), что при отсутствии атмосферы позволяет реализовать высокую чувствительность, недостижимую для наземных инструментов.

Телескоп с такими характеристиками позволил бы поставить научные задачи по изучению самых разнообразных астрономических объектов и явлений:

- исследование ранних этапов эволюции Вселенной от момента рекомбинации плазмы в расширяющейся Вселенной до начала образования галактик;
- исследование фундаментальных свойств пространства-времени и вакуума, определение космологических параметров, изучение природы скрытой массы и темной энергии;
- обнаружение галактик на стадии их образования, изучение эволюции звездной и газопылевой составляющих, детектирование скрытой массы;
- исследование кинематики и динамики плотных областей межзвездной среды, газопылевых комплексов и глобул;
- обнаружение сложных органических молекул в межзвездной среде с целью изучения химической эволюции межзвездной среды;
- исследование возникновения и эволюции звезд и планетных систем, обнаружение новых планет за пределами Солнечной системы, поиск проявлений жизни во Вселенной;
- изучение структуры и эволюции области расположения сверхмассивной черной дыры в центре нашей Галактики, исследования активных галактических ядер и квазаров с целью понимания процессов ускорения и взаимодействия частиц сверхвысоких энергий, генерируемых космическими ускорителями в этих объектах;
- изучение релятивистских стадий эволюции звезд, включая вспышки сверхновых с образованием нейтронных звезд и черных дыр звездных масс;
- высокоточные определения расстояний и собственных движений звезд и внегалактических объектов;
- поиск новых видов астрономических объектов.

### **Некоторые технические решения**

Однако столь впечатляющие возможности ставят ряд достаточно сложных задач. Такой телескоп выгоднее всего располагать в точке Лагранжа L2 ( $1.5 \times 10^6$  км от Земли), где он будет совершать периодические колебания перпендикулярно плоскости эклиптики. Для обеспечения требований по чувствительности и диапазон необходимо выполнить некоторые условия, например, большой диаметр главного зеркала (не менее

10 м) и глубокое охлаждение всей приемной аппаратуры. Изготовить и запустить столь большое цельное зеркало не представляется возможным, и потому его надо изготавливать сегментным и запускать в сложенном состоянии, с раскрытием после вывода на орбиту. Схема раскрытия может быть выбрана из нескольких вариантов, но на данный момент самым оптимальным представляется схема типа «зонтик». Как и в большинстве космических аппаратов, солнечные батареи тоже будут раздвижными.

Учитывая жесткие требования к размерам, самой подходящей оптической схемой является схема Кассергена. В решении поставленной задачи она практически незаменима. Охлаждение такого телескопа до нужных температур возможно лишь с использованием двух видов охлаждающего оборудования. Первый этап охлаждения происходит при помощи пассивного охлаждения (криозкраны). Этого этапа должно быть достаточно для узлов, не требующих глубокого охлаждения. Для приемной аппаратуры необходимы более низкие температуры и активное охлаждение. Для этой цели предлагается использовать криоустановки. Криозкраны также будут с системой раскрытия.

### Заключение

Решением всех вышеизложенных и многих не освещенных задач станет на сегодняшний день уникальный телескоп, открывающий большие перспективы в сфере изучения космоса. И даже одна мысль о том, сколько ответов даст такое «чудо» техники, отправляет фантазию в чудесный полет, откуда не хочется возвращаться. И, возможно, как раз такой телескоп даст однозначный ответ на вопрос о внеземной жизни.

### Литература

1. Зверев В.А., Радиооптика. – М.: Советское радио, 1975. – 304 с.: ил.
2. Зверев В. А., Степанов Н. С. Экспериментальная радиооптика. – М.: Наука, 1979. – 254 с.: ил.
3. Гринев А. Ю. Основы радиооптики. / Уч. пособие. – М.: СайнспПресс, 2003.

УДК 004.942

## АВТОМАТИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

С.Е. Антонов

Целью работы является разработка автоматизированного программно-аппаратного комплекса для исследования прецизионных триподов. В ходе работы был проведен анализ задач: автоматизации моделирования прецизионных параллельных механизмов, составление компонентной архитектуры системы, выбор методов реализации, имплементация автоматизированной системы.

**Ключевые слова:** параллельные механизмы, трипод, автоматизация управления, симуляционное моделирование, автоматизированная система для научных исследований (АСНИ), прецизионные установки.

### Введение

Перспективным направлением исследований является разработка прецизионных установок, позволяющих проводить высокоточные исследования. Механизмы параллельной кинематики (устройства, исполнительное звено которых соединяется с основанием с использованием нескольких независимых кинематических цепей)

обладают рядом преимуществ, таких как повышенная точность, обусловленная их параллельной структурой; жесткость; надежность; возможность манипулировать большими нагрузками [1]. Недостатком таких систем является повышенная математическая сложность программного обеспечения [2]. Исследователи механизмов параллельной кинематики отмечают недостаток в эмуляторах, с помощью которых можно было бы производить полноценное исследование и определение реальных возможностей проектируемых параллельных механизмов с количеством степеней свободы, меньшим шести [1]. Примеры использования параллельных механизмов приведены на рис. 1.

Целью настоящей работы является разработка автоматизированного программно-аппаратного комплекса для исследования параллельных механизмов на примере прецизионных триподов. Для этого решаются следующие задачи:

- проектирование и создание инструментария для исследования параллельных механизмов;
- имитационное моделирование работы параллельных механизмов различных конфигураций на этапе проектирования систем;
- определения конфигурационного пространства системы;
- оценка ограничений, параметров проектируемого трипода на предмет соответствия поставленным задачам;
- разработка и верификация различных алгоритмов моделирования, алгоритмов управления нелинейными параллельными кинематическими устройствами;
- реализация подхода автоматизированного моделирования и исследования параллельных механизмов.

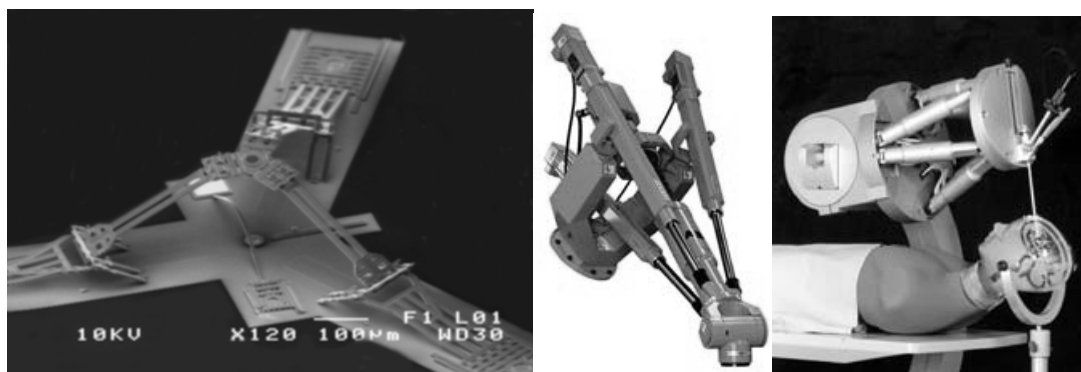


Рис. 1. Применение параллельных механизмов

Данная автоматизированная система для научных исследований (АСНИ) обеспечит возможности решения широкого круга задач: задач терминального управления; задач траекторного управления, слежения; задач связанных с исследованием модели трипода, выявлением кинематических и динамических характеристик системы; задач на планирование движений; задач адаптивного управления системой, с возможностями самообучения.

Разрабатываемый автоматизированный программно-аппаратный комплекс обеспечит возможности исследования прецизионных триподов, проведения исследований с помощью прецизионных триподов и решения различных задач теории автоматического управления. Также АСНИ может быть использована в обучении для проведения различных лабораторных работ и студенческих исследований в области ТАУ, механики, программирования, робототехники.

### Моделирование системы

Создание математических моделей систем позволяет изучать свойства и закономерности, присущие системам, исследовать поведение систем в граничных состояниях, проводить апробацию алгоритмов управления. Также с использованием математических моделей можно оценить степень соответствия реальной и идеальной системы с целью выявления степени расхождения, погрешности в поведении реальной системы.

Разработанная математическая модель описывает закон позиционирования платформы трипода в обобщенной системе координат. Реализован метод позиционирования системы через решение обратной задачи кинематики. Это позволяет реализовать быстрое дискретное позиционирование модели параллельного механизма путем расчета координат опор на основе требуемых координат платформы [2]. При проверке допустимости позиции платформы используются следующие ограничения:

- радиусы платформы и основания, которые ограничивают возможные точки крепления опор при задании конфигурации трипода;
- точки крепления опор к платформе и основанию;
- максимальные и минимальные длины опор;
- диаметр опор, который используется для проверки пересечений опор при работе модели, реализованной через поиск минимального расстояния между отрезками в пространстве (при позиционировании модели производится поиск и проверка расстояний между опорами);
- минимальные углы между опорами и платформой, опорами и основанием; ограничение реализовано через расчет и проверку угла между прямыми, которые проходят через опоры, и плоскостями основания и платформы;
- ограничения на степени свободы отдельных элементов устройства;
- максимальные скорости и ускорения, которые могут совершать двигатели устройства.

На основании возможности дискретного позиционирования реализована возможность расчета конфигурационного пространства системы. Также была реализована возможность внесения данных параметров в модель через пользовательские сценарии, что дало возможность моделировать и исследовать работу триподов различных конфигураций.

Управление моделью иерархически, по степени усложнения, можно разбить на несколько основных этапов:

- конфигурация модели – выбор ограничительных уравнений математической модели системы;
- позиционирование модели – разработка функционала, позволяющего рассчитывать параметры системы в зависимости от изменяемого положения рабочей платформы;
- определение рабочего пространства системы – поиск пространства допустимых состояний модели алгоритмами, основанными на волновых алгоритмах, позволяет разработать более оптимальную методику управления моделью;
- управление платформой трипода, перемещение платформы по заданной траектории – моделирование решения задач, которые ставятся перед моделируемым устройством, отработка алгоритмов управления, тестирование, поиск оптимальных решений;
- моделирование ошибок перемещений, погрешностей – калибровка системы, тестирование поведения системы в различных непредвиденных, граничных ситуациях;

- управление реальным устройством – применение алгоритмов управления моделью к управлению реальным прототипом, анализ получаемых результатов, возможностей оптимизации устройства / модели.

Вследствие необходимости моделирования системы в течении продолжительных промежутков времени, сложности решения задачи оптимизации проектируемой системой чисто аналитическими методами [2] возникает необходимость автоматизации моделирования.

### **Базовые аспекты автоматизации моделирования**

Автоматизация моделирования в АСНИ подразумевает реализацию возможности автоматизации ряда аспектов функционирования системы: возможности автоматизированного изменения конфигурации системы, позиционирования модели в пространстве; реализации пользовательских сценариев управления моделью, возможности создания пользовательских сценариев для управления реальной системой, моделирования и обработки различных событий системы [4]. Внедрение пользовательской автоматизации моделирования в АСНИ дает возможности автоматизировать:

- оптимизацию рабочего пространства по заданным пользовательским критериям;
- оптимизацию конструктивных элементов системы, параметров сборки системы;
- исследование поведения системы при различных задачах и условиях работы;
- тестирование алгоритмов управления, стабильность работы системы в различных ситуациях;
- сбор и динамическую обработку пользовательских данных о состоянии модели.

Одним из главных аспектов автоматизации моделирования является интеграция возможности создания пользовательских сценариев управления системой в разработанную АСНИ [4]. Данный подход позволяет использовать как преимущества производительности «быстрого» кода (пре-компилированного и оптимизированного), так и возможности простой разработки логики работы системы с использованием языка сценариев – «медленного» кода. Большая часть критического, наиболее требовательного к ресурсам и часто выполняемого кода системы реализована с использованием C++, пре-компилирована и оптимизирована для исполнения в целевой операционной системе. Такие требовательные к производительности функции, как проверка возможности нахождения платформы в заданном состоянии с учетом всех ограничений, расчет конфигурационного пространства, построение траектории движения платформы модели, реализованы в быстром коде, что позволяет обеспечить возможности управления моделью в реальном времени. При этом «медленный» код обеспечивает более низкий порог вхождения в автоматизированное использование системы [4], в разработку логики функционирования конкретного моделируемого устройства за счет отсутствия необходимости исследования кода ядра модели, настройки окружения для компиляции и сборки кода всей системы.

Использование разделения на «быстрый» и «медленный» код особенно актуально при моделировании прецизионных устройств, так как многие операции, требующие прецизионной точности исполнения в процессе моделирования, требуют и большого количества проверок допустимости состояния системы, и время работы неоптимизированных алгоритмов с высокой сложностью становится неприемлемым, особенно при реализации в «медленном коде». Однако при необходимости сложные алгоритмы расчетов все же могут быть реализованы и в «медленном» коде, но только при отсутствии требований по их исполнению в реальном времени.

«Медленный» код позволяет более просто и быстро реализовать логику управления устройством, внедрить пользовательские обработчики различных событий системы, что дает возможности полноценного исследования прецизионных параллельных механизмов, сбора необходимых дополнительных пользовательских статистик, не предусмотренных при разработке основного кода АСНИ.

### Реализация системы автоматизированного моделирования

При реализации АСНИ была разделена на несколько логических блоков. Диаграмма основных компонентов системы и их связей приведена на рис. 2.

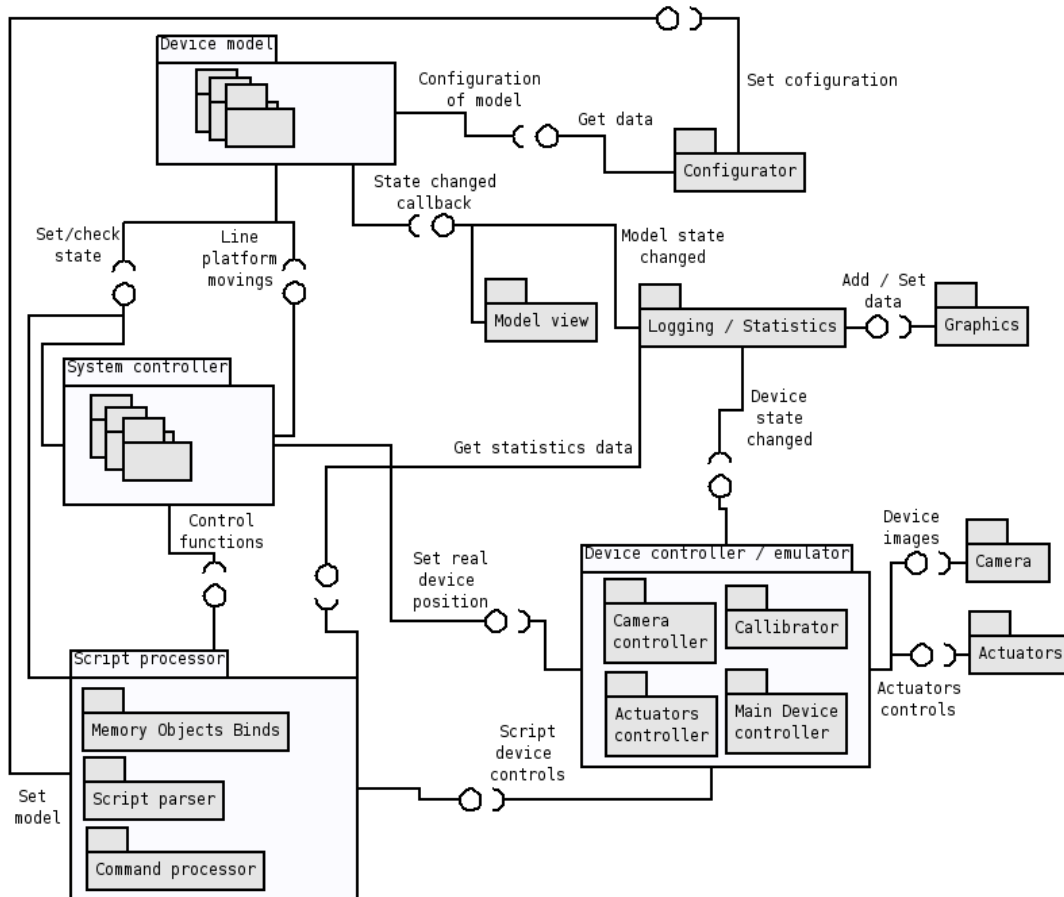


Рис. 2. Компонентная диаграмма АСНИ

Основными компонентами системы являются:

- модуль математического моделирования, конфигурации устройств – реализует в «быстром» коде все необходимые функции моделирования, базового управления системой;
- модуль визуализации результатов работы системы, сбора статистических данных – получает и сохраняет / отображает данные, полученные на выходе модуля математического моделирования;
- система разбора, обработки пользовательских сценариев и их связи с объектами в памяти АСНИ – разработана на основе кросс-платформенных средств разработки Qt и модуля QScript для C++;
- модуль взаимодействия с внешними устройствами – реализует возможности создания интерфейсов взаимодействия АСНИ и различных драйверов устройств;

главный контрольный модуль – отвечает за стабильное функционирование всех компонентов системы, за графический пользовательский интерфейс. Дополнительно в существующие модули можно интегрировать пользовательские функции обратного вызова, реализованные в виде сценариев с предопределенными интерфейсами. Функции обратного вызова могут быть использованы для калибровки /внесения погрешности в результаты работы модели; влияния на поведение системы в реальном времени; сбора дополнительных статистических данных; для установки дополнительных пользовательских ограничений на математическую модель системы.

Для управления моделью «на лету» реализован консольный пользовательский интерфейс с возможностью вызова подсказок по существующим командам. Интерфейс дает возможность унифицированного управления различными типами моделей без необходимости модификации графического пользовательского интерфейса. Примеры пользовательского интерфейса АСНИ приведены на рис. 3, 4.

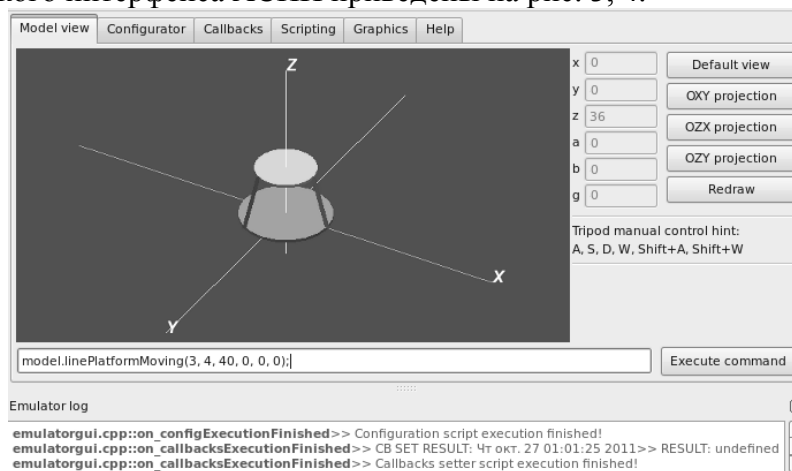


Рис. 3. Интерфейс отображения и консольного управления моделью

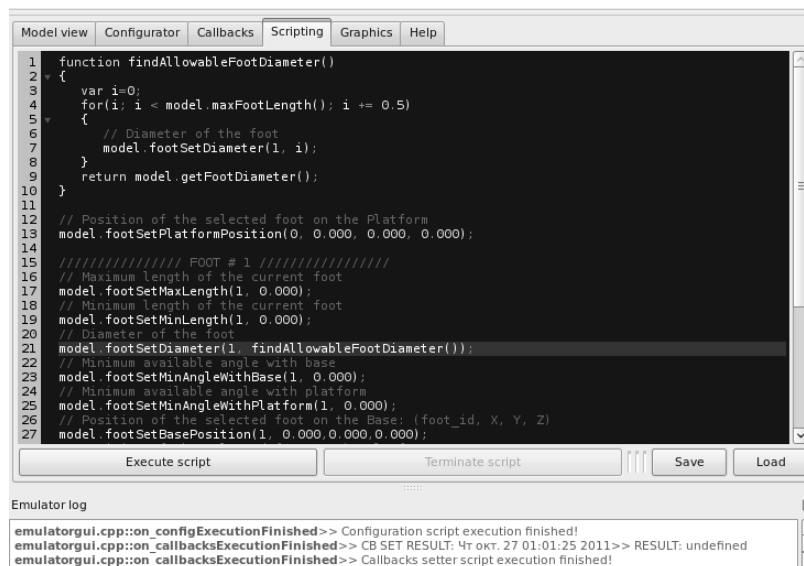


Рис. 4. Интерфейс реализации сценариев управления системой

## Заключение

В рамках работы был представлен краткий обзор разработанной математической модели прецизионных параллельных механизмов; рассмотрены различные аспекты автоматизации моделирования в АСНИ с учетом требований о точности

моделируемого устройства; были отмечены преимущества использования различных механизмов автоматизации; представлена обобщенная архитектура реализации АСНИ, учитывающая основные элементы системы и их связи. Суммируя основные преимущества и возможности использования сценариев управления системой, можно выделить:

- возможность использования функциональности, реализованной как в бинарном («быстром») виде, так и в виде сценариев, что ускоряет разработку без существенного снижения производительности;
- возможность сбора необходимых статистик функционирования системы с использованием функций обратного вызова;
- возможность влияния на поведение системы в реальном времени с использованием функций обратного вызова и пользовательских сценариев управления системой;
- возможность автоматизации поиска оптимальных параметров требуемого устройства;
- возможность разностороннего автоматизированного тестирования алгоритмов управления моделью и реальным устройством;
- упрощение и повышение гибкости интерфейса управления системой;
- унификация системы моделирования – возможность моделирования устройств различных конфигураций с помощью единой АСНИ.

Среди недостатков использования сценариев можно выделить следующие: некоторое повышение порога вхождения пользователей АСНИ по сравнению с неконсольной версией интерфейса системы; небольшое замедление работы системы при использовании сценариев. Однако данные недостатки можно признать несущественными, по сравнению с преимуществами от использования сценариев [4].

АСНИ с возможностью создания пользовательских сценариев может быть использована в качестве виртуальной лабораторной установки в студенческих лабораторных и исследовательских работах. Связь АСНИ с реальным устройством позволит наглядно верифицировать полученные результаты моделирования.

### Литература

1. Parallel Robots (Second Edition) / J.-P. Merlet – The Netherlands: Springer, 2006. – 401pp.
2. Type Synthesis of Parallel Mechanisms / Xianwen Kong, Clément Gosselin – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. – 271 pp.
3. «Наука и образование» [Электронный ресурс] / Электронное научно-техническое издание – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/>, свободный. – Яз. русский, английский.
4. Библиотека CITForum [Электронный ресурс] / Электронное научно-техническое издание; ред. Reginald Stadlbauer, Monica Vittring; Web-мастер: Andi Peredri – Электрон. дан. – М.: IT-порт. CITForum, 2003 – Режим доступа: <http://citforum.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.



УДК 681.51

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ

**Е.И. Бирилло, В.В. Григорьев, Д.Н. Соколова, А.Н. Коровьяков, Ю.В. Литвинов**

Важной задачей анализа систем радиоавтоматики является оценка влияния на их работу случайных возмущений. В настоящей статье предлагается удобная в практических применениях численная характеристика эффективности функционирования систем радиоавтоматики в условиях влияния случайных возмущений.

**Ключевые слова:** радиодальномер, системы радиоавтоматики, случайные возмущения, следящие системы.

### Введение

Системы радиоавтоматики (РА) очень разнообразны по функциональному построению и по схемотехническим решениям. Однако в представлении систем радиоавтоматики структурными схемами обнаруживается поразительная схожесть схем широкого класса систем РА различного назначения, разных физических принципов реализации и разнообразных схемных решений [1]. Это позволяет использовать единые подходы к анализу динамики и синтезу устройств управления систем РА.

Следящие измерители дальности (СИД) представляют важный тип систем РА.

На рис. 1 приведена обобщенная функциональная схема СИД [1], состоящего из временного дискриминатора (датчика рассогласования), усилительно-преобразовательного устройства и генератора временной задержки (исполнительного устройства). Входными сигналами СИД являются отраженные от выбранной цели видеоимпульсы, поступающие с выхода приемника. «Истинная» дальность  $D$  представляется интервалом времени  $t_1$  (при постоянном значении скорости распространения электромагнитной энергии). Время задержки  $t_2$  выходных следящих импульсов относительно прямых импульсов СИД, соответствует измеряемому радиодальномером значению дальности до цели  $D_{изм}$ . Во временном дискриминаторе время задержки  $t_2$  следящих импульсов сравнивается со временем  $t_1$  запаздывания отраженных от цели импульсов. В режиме слежения сигнал управления генератором временной задержки, пропорционален временной ошибке сопровождения  $t = t_1 - t_2$ .



Рис. 1. Обобщенная функциональная схема радиодальномера

### Оценка влияния возмущений

Для описания динамики работы радиодальномера в режиме слежения используем модель, представленную уравнениями состояния в виде [ 2, 3]:

$$\begin{aligned} x(m+1) &= Fx(m) + Gw(m), \\ y(m) &= Cx(m), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x$  – вектор состояния модели СИД,  $y$  – вектор выходных переменных,  $F = A - Bk$  – матрица замкнутой СИД,  $C$  – матрица связи векторов  $y$  и  $x$ ,  $w(m)$  – случайное возмущение, действующее на СИД, матрица  $G$  определяет входы, по которым действует возмущение.

Рассмотрим влияние на СИД случайного возмущения при условии движения цели с малой скоростью, т.е. приближенно будем рассматривать задачу стабилизации системы относительно нулевого значения вектора состояния, полагая

$$M[x(0)] = \bar{x}(0) = 0,$$

где  $M[x(0)]$  – операция взятия математического ожидания вектора  $x(0)$ . Пусть матрица ковариаций вектора начальных отклонений равна

$$M[x(0) x^T(0)] = X_0.$$

Возмущение будем считать скалярным случайным процессом  $w(m)$  с дискретным временем и математическим ожиданием (МО)

$$M[w(m)] = \bar{w}(m)$$

Дисперсию возмущения

$$M[(w(m) - \bar{w}(m))^2] = \sigma_m^2,$$

будем считать стационарной величиной,  $\sigma_m^2 = \sigma_0^2$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$ . Считаем также, что состояния СИД не коррелированы с возмущением

$$M[x(k) w(m)] = 0, \quad k=0, 1, 2, \dots, m=0, 1, 2, \dots, \quad (i = 1, n),$$

и, кроме того, возмущение имеет нормальное распределение.

В перечисленных упрощающих условиях проанализируем поведение во времени первых двух моментов от вектора состояния СИД, в случае нормального распределения возмущения полностью характеризующих вероятностные свойства процессов в радиодальноммере. Взяв математическое ожидание от выражения (1), получаем:

$$\begin{aligned} \bar{x}(m+1) &= F\bar{x}(m) + G\bar{w}(m), \\ \bar{y}(m) &= C\bar{x}(m). \end{aligned} \quad (2)$$

Если  $\bar{x}(0) = 0$  и  $w(m) = 0$  ( $m = 1, 2, \dots$ ), то МО вектора состояний СИД  $\bar{x}(m)$  равно нулю для любого момента времени.

Уравнение для поведения во времени матрицы дисперсий СИД получим [2] следующим образом. Вычтем (2) из (1) и умножим полученное выражение на результат его транспонирования. Взяв МО от обеих сторон равенства, найдем

$$X_{m+1} = F X_m F^T + G \sigma_m^2 G^T, \quad X_0 = X(0), \quad (3)$$

где  $X_m = M[(x(m) - \bar{x}(m))(x(m) - \bar{x}(m))^T]$  – матрица ковариаций (дисперсий) вектора состояний СИД. Дисперсия выходной переменной (изменения дальности) СИД определяется выражением

$$M[y(m) - \bar{y}(m)]^2 = C X_m C^T. \quad (4)$$

Если дисперсия возмущения является стационарной величиной ( $\sigma_m^2 = \sigma_0^2$ ) и замкнутая СИД асимптотически устойчива (т.е. все собственные числа матрицы  $F$  лежат в единичном круге), то решение  $X_m$  разностного матричного уравнения (3) сходится к стационарному значению, являющемуся решением алгебраического матричного уравнения

$$X = F X F^T + G \sigma^2 G^T. \quad (5)$$

Решение этого уравнения определяет матрицу дисперсий в установившемся режиме, т.е. значения этой матрицы после окончания переходных процессов.

Уравнение вычисления МО от вектора состояния СИД (2) и уравнение вычисления матрицы дисперсий (3) не связаны друг с другом, поэтому последовательности  $\bar{x}(m)$  и  $X_m$  можно вычислять раздельно.

Рассмотрим поведение СИД при возмущениях с нулевым МО  $\bar{w}(m)=0$ ,  $m=0,1,2,\dots$  и  $\bar{x}(0)=0$ . В этом случае МО от вектора состояния СИД равно нулю для любого момента времени, и статистические свойства процессов в СИД полностью и наиболее наглядно характеризуются динамикой изменения матрицы дисперсий  $X_m$ . Анализ поведения этой матрицы представляет удобный с вычислительной и иллюстративной точек зрения способ оценки влияния на динамику СИД случайных возмущений.

Вероятность нахождения вектора состояний  $x$  внутри эллипсоида

$$(x - \bar{x})^T X_m^{-1} (x - \bar{x}) = \chi^2, \quad (6)$$

подчиняется  $\chi^2$  распределению с  $n$  степенями свободы, где  $n$  – размерность вектора состояний СИД. Поверхность (6) называют эллипсоидом правдоподобия. Значение вероятности нахождения вектора состояния СИД внутри эллипсоида правдоподобия (6) удобно вычислять как значение функции  $\chi^2$  распределения

$$P\left[(x - \bar{x})^T X_m^{-1} (x - \bar{x}) \leq \chi^2\right] = P\left[\chi^2\right] = F\left[\chi^2, n\right],$$

приведенной в таблице.

Таблица

	1	2	3	4	5
1	0,683	0,333	0,199	0,030	0,037
4	0,994	0,265	0,739	0,534	0,451
9	0,997	0,989	0,971	0,939	0,891

Если в результате решения разностного матричного уравнения (3) вычислены матрицы дисперсий  $X_m$  с начальной матрицей  $X_0$ , то для любого момента времени  $m$  можно построить эллипсоид правдоподобия с заданным значением  $\chi^2$ , соответствующим некоторому значению вероятности  $P\left[\chi^2\right]$  нахождения траектории СИД в данный момент времени в этом эллипсоиде. Совокупность таких эллипсоидов правдоподобия образует «трубку» равновероятностного уровня  $P\left[\chi^2\right]$ , характеризующую поведение СИД при случайных воздействиях описанного выше типа. Каждый из моментов времени  $m$  вероятность нахождения траектории движения СИД внутри «трубки» равна  $P\left[\chi^2\right]$ . При стационарности дисперсии возмущения  $\sigma_m^2 = \sigma_0^2$  эллипсоиды правдоподобия с течением времени стремятся к постоянному эллипсоиду

$$(x - \bar{x})^T X^{-1} (x - \bar{x}) = \chi^2, \quad (7)$$

где матрица  $X^{-1}$  – обратная матрица по отношению к матрице  $X$ , определяемой из решения алгебраического матричного уравнения (5). Стационарная «трубка»

равновероятностного уровня, построенная на основании соотношения (7), характеризует установившийся режим работы СИД.

Введенные «трубки» равновероятностного уровня представляют информацию о статических и динамических свойствах СИД в наглядной графической форме. Но для многомерных процессов наглядность геометрических образов теряется, и трудоемкость построения эллипсоидов правдоподобия быстро растет с увеличением размерности вектора состояния СИД  $x$ . Поэтому введем скалярную характеристику, связанную с эллипсоидом правдоподобия и отражающую их свойства. Вычислим объем  $V_m$  эллипсоида правдоподобия (6):

$$V_m = [\det X_m^{-1}]^{-1/2} V^0 = [\det X_m]^{1/2} V^0,$$

где  $V$  – объем сферы  $(x - \bar{x})^T (x - \bar{x}) = \chi^2$  радиуса  $\chi$ .

Значение  $V_m$  в момент времени  $t$  характеризует тот объем в пространстве состояний, в котором с вероятностью  $P[\chi^2]$  может находиться траектория СИД. Характер изменения во времени объема  $V_m$  связан с динамическими свойствами СИД, а именно со сходимостью процессов. Значение объема эллипсоида правдоподобия в установившемся режиме (7) характеризует точностные показатели СИД.

Вычисление матрицы  $X_m^{-1}$  для построения эллипсоида правдоподобия (6) можно проводить как на основании решения рекуррентного матричного уравнения (3) с последующим обращением матрицы  $X_m$ , так и на основании рекуррентного соотношения

$$X_{m+1} = (F^{-1})^T X_m^{-1} F^{-1} \left( I + (F^{-1})^T X_m^{-1} G \sigma_m^2 G^T \right)^{-1},$$

$$X_0^{-1} = X_{(0)}^{-1},$$

которое следует из (3).

### Заключение

Время сходимости процессов в СИД к установившемуся режиму оценивается несколькими десятками интервалов дискретности  $T$ , но в силу его малого значения ( $T=1/500=0,002$  с) это время оказывается вполне приемлемым и оценивается величиной порядка 0,04 с.

### Литература

1. Дудник П.И., Чересов Ю.И. Авиационные радиолокационные устройства. – М.:ВВИА им проф. Н.Е. Жуковского, 1986. 538 с.
2. Квакернаак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. – М.:Мир, 1977. – 653 с.
3. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. – М.: Мир, 1972. –272 с.

УДК 535.2:621.373.8267

## УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ СОЛИТОНОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ОБЛАСТИ АНОМАЛЬНОЙ ГРУППОВОЙ ДИСПЕРСИИ СРЕДЫ

А.А. Булеев, М.А. Бахтин

Рассмотрено нелинейное взаимодействие сонаправленных фемтосекундных лазерных импульсов, спектры которых лежат преимущественно в области аномальной групповой дисперсии среды. Показано, что в результате такого взаимодействия могут быть получены солитоноподобные структуры. Проверены свойства полученных солитонов. Показан эффективный способ управления интенсивностью генерируемых солитонов.

**Ключевые слова:** взаимодействие, фемтосекундные импульсы, аномальная дисперсия

### Введение

В последнее время исследуется взаимодействие импульсов с центральными длинами волн 390 нм и 780 нм в стандартном волноводе из кварцевого стекла, т.е. спектр обоих импульсов преимущественно находится в области нормальной групповой дисперсии среды [1, 2]. В настоящей работе рассматривается взаимодействие импульсов, спектр которых лежит в области аномальной групповой дисперсии. Исследование в данной спектральной области представляет интерес, в первую очередь, в связи с тем, что в области аномальной групповой дисперсии возможно существование оптических солитонов, т.е. волновых пакетов, которые могут распространяться на значительные расстояния практически без изменения своей формы [3, 4].

В настоящей работе показано, что при взаимодействии двух импульсов со спектром в области аномальной групповой дисперсии могут генерироваться солитоны, интенсивностью которых можно эффективно управлять.

Для исследования столкновения импульсов из малого числа колебаний и с разным спектральным составом в настоящей работе выбран подход, основанный на анализе непосредственно поля излучения. Основное уравнение, описывающее динамику поля линейно поляризованного излучения в однородных и изотропных прозрачных средах с дисперсией и нерезонансной электронной нелинейностью, можно записать в виде [5]

$$\frac{\partial E}{\partial z} + \frac{N_0}{c} \frac{\partial E}{\partial t} + a \frac{\partial^3 E}{\partial t^3} - b \int_{-\infty}^t E d\tau + gE^2 \frac{\partial E}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

где  $E$  – напряженность электрического поля излучения;  $z$  – направление, вдоль которого оно распространяется;  $t$  – время;  $N_0$ ,  $a$ ,  $b$  – параметры среды, описывающие дисперсию ее линейного показателя преломления,  $g$  – характеристика среды, связанная с ее коэффициентом нелинейного показателя преломления  $n_2$  выражением  $g=2n_2/c$ ;  $c$  – скорость света в вакууме.

Столкновения импульсов будем рассматривать на основе численного моделирования уравнения (1). Зададим поле на входе в среду в виде суммы двух гауссовых импульсов с различными центральными длинами волн, сдвинутых друг относительно друга на некоторую временную дистанцию  $\Delta t$ .

### Численные эксперименты

Рассмотрим столкновение импульсов с центральными длинами волн  $\lambda_1=2\pi c/\omega_1=2500$  нм;  $\lambda_2=2\pi c/\omega_2=1250$  нм; длительностями  $\tau_1=\tau_2=30$  фс; интенсивностями на входе в среду  $I_1=I_2=10^{13}$  Вт/см<sup>2</sup> и временной задержкой  $\Delta t=80$  фс в кварцевом стекле, у которого  $N_0=1.4508$ ;  $a=2.7401 \cdot 10^{-44}$  с<sup>3</sup>/см;  $b=3.9437 \cdot 10^{17}$  1/(с·см);  $n_2=2.9 \cdot 10^{-16}$  см<sup>2</sup>/Вт.

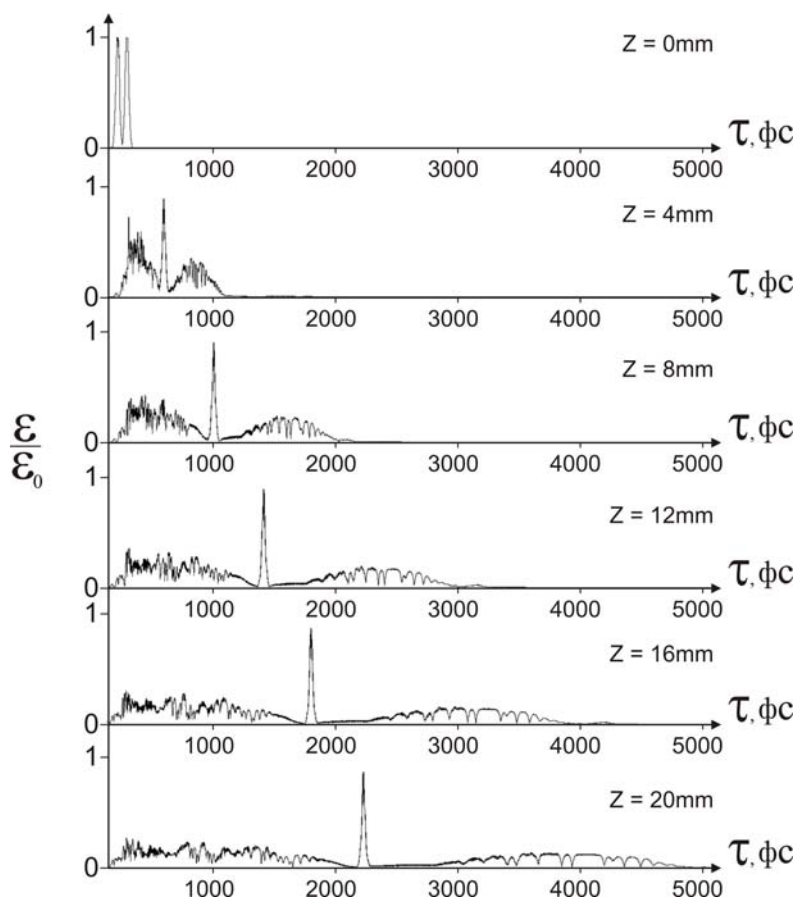


Рис. 2. Динамика огибающей электрического поля взаимодействующих импульсов с входными интенсивностями  $I_1=I_2=10^{13} \text{ Вт/см}^2$ , длительностями  $\tau_1=\tau_2=30 \text{ фс}$  и начальной временной задержкой  $\Delta\tau=80 \text{ фс}$ , в волокне из кварцевого стекла.

На рис. 2 можно наблюдать появление и распространение ярко выраженной солитоноподобной структуры, форма которой остается неизменной на сравнительно больших расстояниях. При этом интенсивность данного образования сопоставима с интенсивностью входных импульсов, а длительность составляет всего несколько колебаний светового поля.

При построении реального эксперимента по взаимодействию импульсов самым доступным для изменения параметром является начальная временная задержка между импульсами. Проиллюстрируем, что происходит с полученным солитоном при изменении этого параметра. На рис. 3 приведены результаты нескольких численных экспериментов по генерации солитона при взаимодействии фемтосекундных импульсов для различных величин начальной временной задержки между импульсами. Результаты получены для следующих величин начальной временной задержки: 40 фс, 80 фс и 160 фс.

Результаты этих экспериментов сведены в табл. 1, в которой показана зависимость параметров солитона (интенсивности и центральной частоты излучения) от начальной временной задержки между взаимодействующими импульсами.

Можно заметить, что с увеличением задержки интенсивность и частота генерируемого солитона падает. Эффективность генерации снижается в среднем на 30% с каждым удвоением задержки. В связи с тем, что частота несущей для солитонов связана с энергией, одновременно с уменьшением интенсивности уменьшается центральная частота солитона.

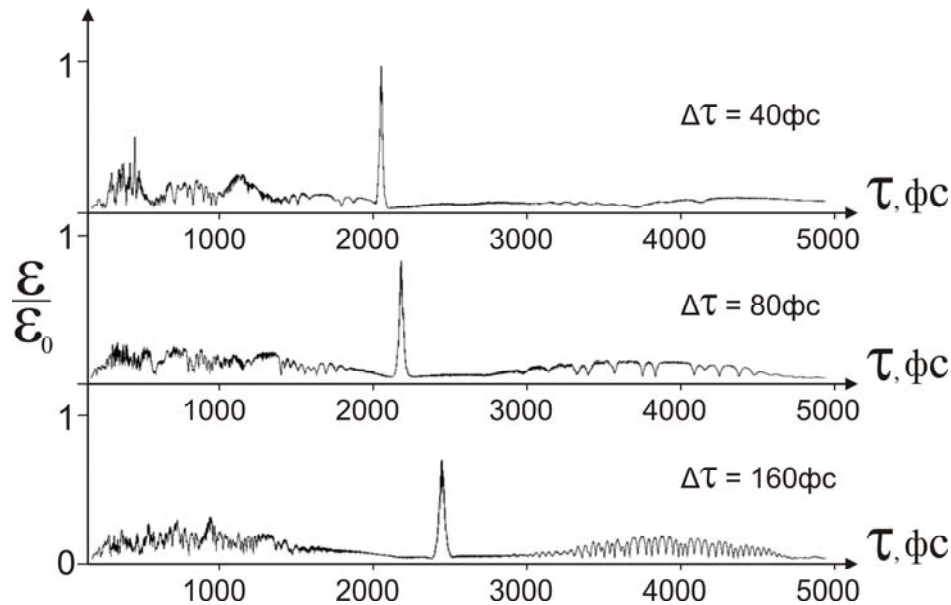


Рис. 3. Результаты генерации солитона при взаимодействии импульсов с входными интенсивностями  $I_1=I_2=10^{13}$  Вт/см<sup>2</sup>, и различными временными задержками относительно друг друга на входе в среду (40 фс, 80 фс и 160 фс). Графики нормированы на максимальное значение огибающей входных импульсов

$\Delta\tau$ , фс	$I/I_0$	$\omega_c/\omega_1$
40	1.05	0.75
80	0.72	0.71
160	0.55	0.65

Таблица 1.  $\Delta\tau$  – начальная задержка между импульсами,  $I/I_0$  – отношение интенсивности солитона к входной интенсивности импульсов,  $\omega_c/\omega_1$  – отношение частоты солитона к частоте первого (низкочастотного) импульса

В связи с тем, что в области аномальной групповой дисперсии генерируемый суперконтинуум имеет довольно сложную структуру, зависимость параметров генерируемого солитона от начальной временной задержки носит нерегулярный характер. Однако можно выделить отдельные интервалы временных задержек, в которых интенсивность генерируемых солитонов монотонно меняется в значительных пределах. На рис. 4 изображен один из таких интервалов (49–50 фс), на котором интенсивность солитона меняется в пределах порядка 20%. Выбор подобных интервалов изменения начальной временной задержки дает эффективный механизм изменения интенсивности (и центральной частоты) генерируемого солитона.

На рис. 5 изображена динамика внутренней (полевой) структуры полученного солитона на небольшой дистанции распространения (солитон рассматривается на дистанции 10 мм от точки вхождения взаимодействующих импульсов в нелинейную среду, так как на данном расстоянии можно считать, что процесс взаимодействия импульсов практически завершен и, соответственно, завершено формирование солитона). Видно, что при неизменности огибающей импульса, полевая структура импульса изменяется и на дистанциях около 0.04 мм полностью себя воспроизводит.

Наблюдаемые солитоноподобные структуры были выделены из общей временной структуры, образовавшейся в результате взаимодействия импульсов. После чего было произведено моделирование их столкновения. На Рис. 6 показан результат

взаимодействия солитонов, полученных в двух различных экспериментах взаимодействия импульсов (при начальных временных задержках 40 фс и 160 фс). На графике изображено распределение поля на нескольких срезах среды. Видно, что один солитон обгоняет другой, вследствие разности их частот. На дистанции распространения порядка 8 мм один полностью проходит сквозь другой, при неизменной огибающей, таким образом наблюдается их упругое столкновение [6, 7]. Соответственно, для полученных структур подтверждается важное свойство оптических солитонов – их высокая устойчивость к возмущениям.

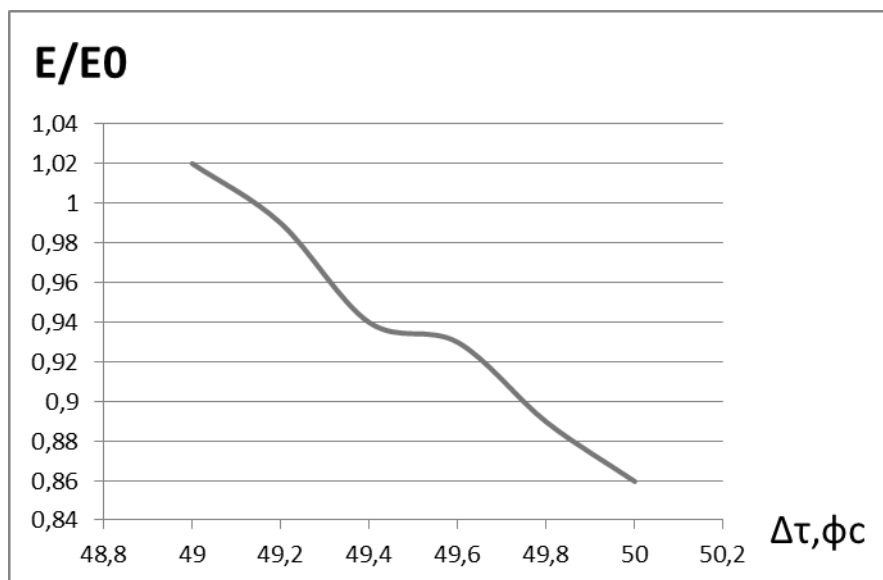


Рис. 4. График зависимости интенсивности полученного солитона к интенсивности входных импульсов от начальной временной задержки между взаимодействующими импульсами

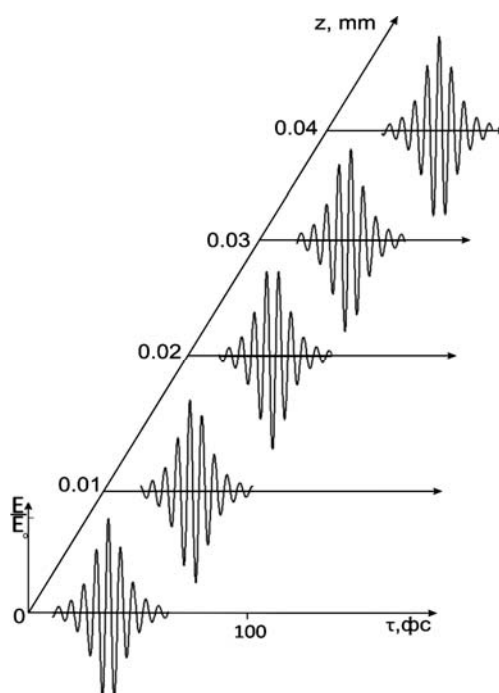


Рис. 5. Динамика полевой структуры солитона, образовавшегося в результате взаимодействия импульсов с входными интенсивностями  $I_1=I_2=10^{13}$  Вт/см<sup>2</sup> в волокне из кварцевого стекла



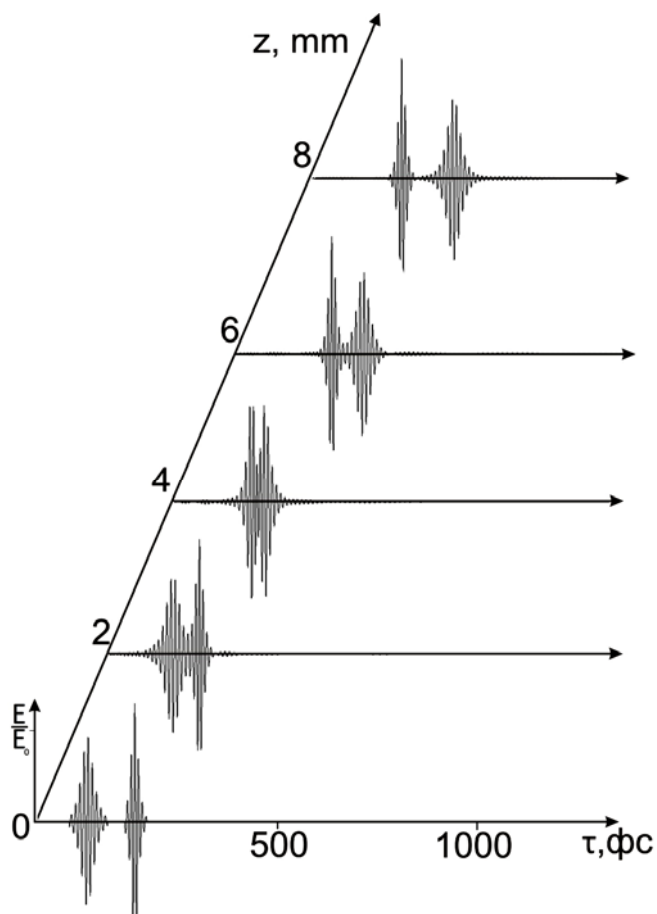


Рис. 6. Столкновение низкочастотного и высокочастотного солитонов, полученных соответственно при задержках 40 и 160 фс

### Заключение

В настоящей работе показано, что при нелинейном взаимодействии двух сонаправленных фемтосекундных лазерных импульсов со спектрами, лежащими в области аномальной групповой дисперсии волокна из кварцевого стекла, возникают солитоноподобные структуры с интенсивностью сопоставимой с интенсивностью входных импульсов. Проверены свойства полученных структур, показаны сходства со свойствами солитонов: упругое столкновение, распространение на большие расстояния без изменения формы огибающей, самовоспроизведение внутренней полевой структуры. Выделены параметры солитона, которыми можно управлять, меняя начальную временную задержку между импульсами. Найдены диапазоны начальных временных задержек между взаимодействующими импульсами для наиболее эффективного управления параметрами получаемых солитонов.

### Литература

1. Бахтин М.А., Козлов С.А., Шполянский Ю.А. Сценарии взаимодействия фемтосекундных лазерных импульсов с различными спектральными составами в объемном кварцевом стекле // Оптический журнал, 2007, т. 74, №11, с. 24-29.
2. Бахтин М.А., Козлов С.А. Формирование последовательности сверхкоротких сигналов при столкновении импульсов из малого числа колебаний светового поля в

- нелинейных оптических средах // Оптика и спектроскопия, 2005, Т. 98, N 3, с. 425-430.
3. Агравал Г.П. Нелинейная волоконная оптика. – М.: Мир, 1996, 324 с.
  4. Кившарь Ю.С., Агравал Г.П. Оптические солитоны. – М.: Физматлит, 2005, 647 с.
  5. Козлов С.А., Сазонов С.В. Нелинейное распространение импульсов длительностью в несколько колебаний светового поля в диэлектрических средах // ЖЭТФ, 1997, Т.111, В.2, с. 404–418.
  6. Карташов Д.В., Ким А.В., Скобелев С.А. Солитонные структуры волнового поля с произвольным числом колебаний в нерезонансных средах // ЖЭТФ, 2003, Т.78, В.5, С.722–726.
  7. Скобелев С.А., Ким А.В. О динамических свойствах “упругих” взаимодействий волновых солитонов с малым числом осцилляций поля // Письма в ЖЭТФ, 2004, Т.80, В.10. с. 727–731

УДК 535.361.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМЕРОВ НАНОНЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПОГЛОЩАЮЩИХ И РАССЕИВАЮЩИХ СРЕДАХ

Д.Н. Вавулин, А.В.Пантелеев, Е.М. Арысланова, А.В. Альфимов, О.В. Андреева,  
С.А. Чивилихин

В работе предложен оригинальный метод определения величины наноразмерных неоднородностей в рассеивающей и поглощающей среде путем сравнения теоретической и экспериментальной зависимостей коэффициента пропускания среды от длины волны света. Метод был опробован на образце нанопористого стекла и дал удовлетворительные результаты. Также были проведены численные оценки данного явления с помощью программного пакета CST Microwave Studio.

### Введение

Определение характерного размера неоднородностей среды является важной научно-технической задачей, которая привлекает внимание многих исследователей [1, 3, 4, 11]. Известные на данный момент способы решения этой задачи зачастую являются непригодными ввиду своей сложности или высокой стоимости (например, малоугловое рассеяние рентгеновских лучей). Нами был предложен простой и дешевый метод определения размеров наноразмерных неоднородностей в рассеивающих и поглощающих средах. Метод был опробован на примере пластины из поглощающего нанопористого стекла, в котором неоднородности (поры со средним диаметром 17 нм, заполненные водой) служили рассеивателями.

Для реализации данного метода была получена теоретическая зависимость коэффициента пропускания от коэффициентов рассеяния и поглощения и экспериментальная зависимость коэффициента пропускания от длины волны света.

Основная идея метода заключается в следующем: при больших длинах волн поглощение среды становится пренебрежимо мало и ослабление света происходит за счет рассеяния на неоднородностях среды. Таким образом, можно определить экспериментально коэффициент рассеяния, исследуя пропускание пластины в диапазоне больших длин волн.

Так как характерный размер неоднородностей среды много меньше длины световой волны, рассеяние имеет рэлеевский характер. Следовательно, коэффициент рассеяния обратно пропорционален четвертой степени длины волны. Далее,

коэффициент пропорциональности и коэффициент поглощения подбираются таким образом, чтобы обеспечить наилучшее согласование между теоретической и экспериментальной зависимостями коэффициента рассеяния от длины волны. А так как рассеяние имеет рэлеевский характер, то полученный коэффициент пропорциональности зависит от шестой степени диаметра пор. Из полученных результатов определяется средний размер пор.

### Вывод теоретической зависимости коэффициента пропускания от параметров системы

Получим коэффициент пропускания среды для случая плоскопараллельной пластины нанопористого стекла толщины  $h$ . Тогда мы можем рассматривать изменение интенсивности света только в одном пространственном направлении (вдоль оси  $x$ ). Уравнение диффузии излучения и граничные условия к нему в данном случае имеют следующий вид:

$$\frac{d^2 Q}{dx^2} - 3\gamma_a \gamma_s Q = 0, \quad (1)$$

$$\left[ Q - \frac{1}{2\gamma_s} \frac{dQ}{dx} \right]_{x=0} = 2Q_e, \quad \left[ Q + \frac{1}{2\gamma_s} \frac{dQ}{dx} \right]_{x=h} = 0, \quad (2)$$

где  $\gamma_a$  и  $\gamma_s$  – коэффициенты поглощения и рассеяния среды,  $Q$  – суммарная интенсивность излучения, падающего на данный элемент среды. Интегрируя (1) с использованием (2), получаем:

$$Q = Ach(\alpha x) + Bsh(\alpha x), \quad (3)$$

где

$$A = \frac{sh(\alpha) + \beta ch(\alpha)}{(1 + \beta^2)sh(\alpha) + 2\beta ch(\alpha)} 2Q_e, \quad B = \frac{ch(\alpha) + \beta sh(\alpha)}{(1 + \beta^2)sh(\alpha) + 2\beta ch(\alpha)} 2Q_e,$$

$$\alpha = h\sqrt{3\gamma_a \gamma_s}, \quad \beta = 0.5\alpha/\gamma_s$$

Зная величину  $Q$ , мы можем определить интенсивность излучения, распространяющегося под углом  $\vartheta$ ,

$$I = \frac{1}{4\pi} \left( Q - \frac{\cos(\vartheta)}{\gamma_s} \frac{dQ}{dx} \right), \quad (4)$$

а также суммарную интенсивность излучения, распространяющегося в положительном направлении вдоль оси  $x$ :

$$Q_+ = 2\pi \int_0^{\pi/2} I \sin(\vartheta) d\vartheta. \quad (5)$$

Используя (3) – (5), рассчитаем искомый коэффициент пропускания  $T = \frac{Q_+(h)}{Q_+(0)}$

пластины нанопористого стекла:

$$T = \frac{1}{ch(h\sqrt{3\gamma_a \gamma_s}) + \sqrt{\frac{\gamma_s}{3\gamma_a}} sh(h\sqrt{3\gamma_a \gamma_s})}. \quad (6)$$

Из полученного соотношения в совокупности с экспериментальными результатами предложенный нами метод позволяет определить характерный размер пор.

### Экспериментальные детали

Для экспериментального измерения зависимости коэффициента пропускания образца рассеивающей и поглощающей среды, в качестве модельного объекта был взят полированный диск нанопористого стекла НПС-17 диаметром 15 мм и толщиной 1 мм, со средним размером пор 17 нм и относительным объемом пор 58%. Перед проведением измерений поры были заполнены водой. Для этого образец был погружен на сутки в дистиллированную воду. Измерения проводились на стандартном спектрофотометре Evolution-300. Далее измерялся коэффициент пропускания образца на различных длинах волн в диапазоне 350–1100 нм. Результаты измерений приведены на рис. 1.

Нанопористые матрицы на основе силикатного стекла представляют собой уникальный инструмент исследования физико-химических процессов в ограниченном объеме, соизмеримом с масштабом протекания процессов и размерами изучаемых объектов. Ограниченность пространства и эффективный контакт со стенками пор обуславливают существенные особенности состояния и свойств заполняющего вещества по сравнению со случаем его нахождения в свободном объеме.

Применение нанопористых стекол в настоящее время связано, главным образом, с прозрачностью таких стекол в видимой области спектра и возможностью получения образцов оптического качества [8, 9]. Оптическая плотность образцов в ближней УФ области спектра обусловлена рассеянием на структуре и поглощением материала. При рассмотрении оптических свойств пористых стекол в видимой области спектра и ближнем ИК диапазоне поглощением в образцах можно пренебречь ввиду малости этой величины, а эффективные оптические постоянные образцов определяются только ослаблением излучения за счет рассеяния на пористой структуре и ее неоднородностях. Это свойство нанопористых стекол и легло в основу данного метода.

### Результаты и обсуждение

Полученные экспериментальные и расчетные зависимости коэффициентов пропускания и поглощения приведены на рис. 1.

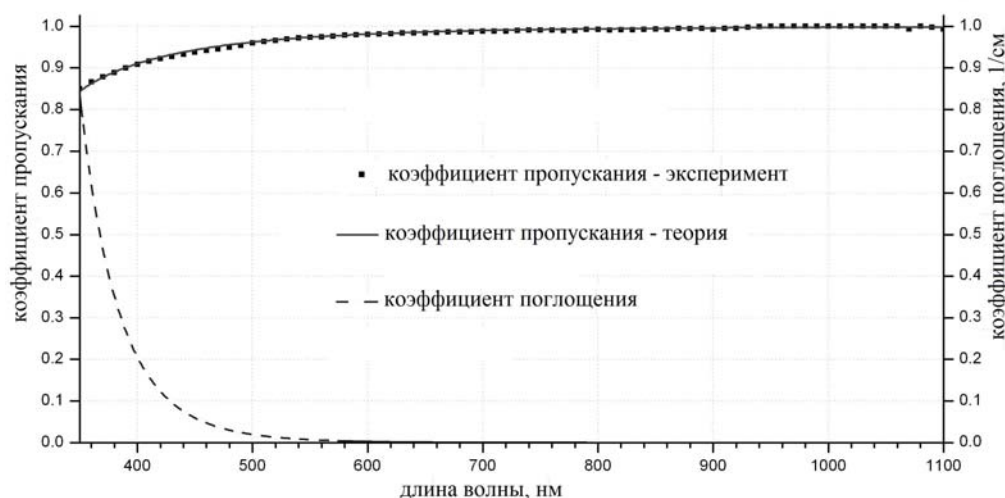


Рис. 1. Экспериментальная и расчетная зависимости коэффициента пропускания, а также коэффициента поглощения нанопористого стекла от длины волны света

Коэффициент рассеяния обратно пропорционален четвертой степени длины волны падающего света,  $\gamma_s = \frac{C}{\lambda^4}$ . Коэффициент  $C$  и спектральная зависимость коэффициента поглощения  $\gamma_a$  подобраны так, чтобы обеспечить наилучшее согласование между теоретической и экспериментальной зависимостями коэффициента пропускания от длины волны света. Полученное при этом значение коэффициента  $C$  позволяет приблизительно оценить характерный размер неоднородности среды  $D \sim C^{1/6}$ . Расчетное значение среднего диаметра пор  $D = 13.5$  нм близко к среднему размеру пор (17 нм) нанопористого стекла. Это говорит о том, что предложенный метод обладает сравнительно высокой точностью при своей простоте и наглядности.

### Численное моделирование процесса

Численное моделирование с использованием программного пакета CST Microwave Studio качественно подтвердило эти результаты в приближении экспоненциальной зависимости коэффициента поглощения среды от длины волны. В этом пакете моделировался небольшой элемент среды (стекла), заполненный порами с водой на 58% в объемном отношении. На этот элемент падала электромагнитная волна (порт 1 на рис. 2). Часть электромагнитной волны, которая прошла через этот элемент, регистрировалась с другой стороны элемента (порт 2 на рис. 2). Полученные результаты обрабатывались и сравнивались с теоретическими и экспериментальными зависимостями.

На рис. 3 изображена численная зависимость коэффициента пропускания от длины волны, с исключенными длинами волн 432 нм ( $T = 0.80$ ), 1017 нм ( $T = 0.86$ ) и 1064 нм ( $T = 0.67$ ), так как на этих длинах волн наблюдаются плазмонные моды, связанные, как ожидается, с антирезонансами Фано. Эти антирезонансы наблюдались при численном моделировании в связи с упорядоченностью структуры пор, чего в реальном эксперименте наблюдаться не может, а потому не представляет интереса для нашего случая.

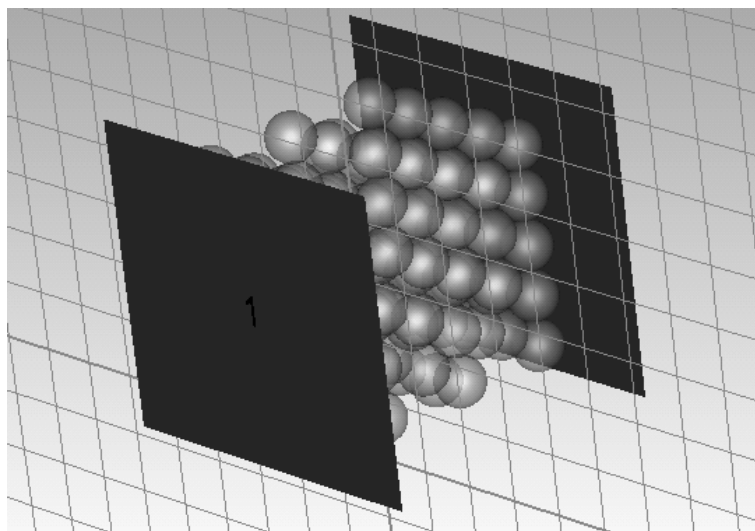


Рис. 2. Небольшой элемент среды (стекла), заполненный порами с водой на 58% в объемном отношении

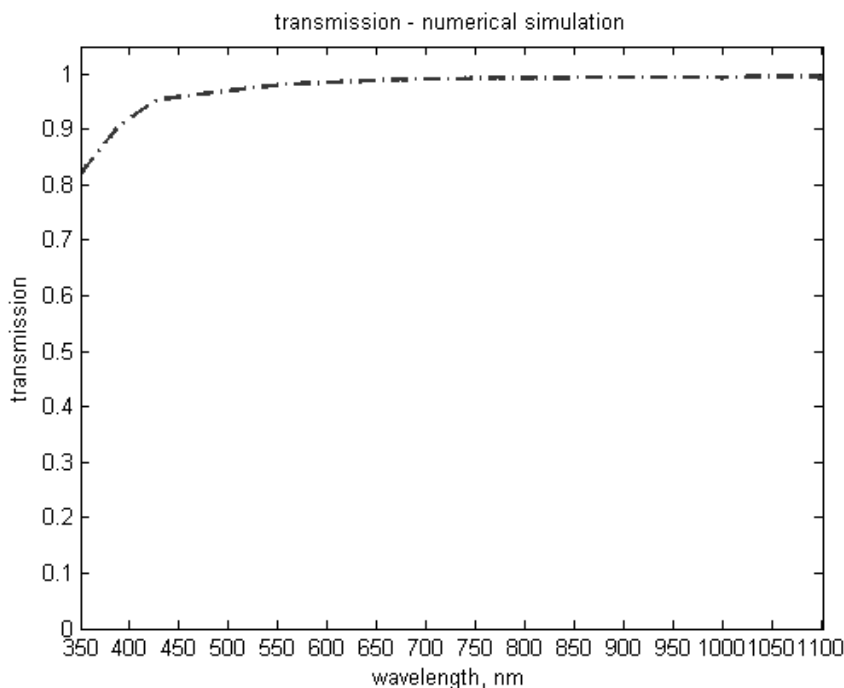


Рис. 3. Качественное подтверждение результатов в приближении экспоненциальной зависимости коэффициента поглощения среды от длины волны

### Заключение

Предложен метод определения среднего размера характерных неоднородностей среды. Метод был опробован на образце нанопористого стекла и дал удовлетворительные результаты. Было проведено численное моделирование процесса, которое также оказалось в хорошем согласии с опытом. Таким образом, метод обладает сравнительно хорошей точностью при низкой стоимости и трудоемкости, а также позволяет понять процесс распространения света в рассеивающей и поглощающей среде.

### Литература

1. Ван де Хюлст. Рассеяние света малыми частицами. – М: ИЛ, 1961.
2. D.N.Vavulin, E.M.Aryslanova Determination of nanoscale inhomogeneities in scattering and absorbing media // 1st EOS Topical Meeting on Micro- and Nano-Optoelectronic Systems, Ringhotel Munte am Stadtwald, Bremen, Germany, 2011
3. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т.1. – М: Мир, 1981.
4. D.N.Vavulin, A.V.Alfimov, E.M.Aryslanova, A.V.Panteleyev Determination of nanoscale inhomogeneities in scattering and absorbing media // Rusnanotech. Nanotechnology international forum, Moscow, 2011, October 26-28
5. Alfimov A.V., Aryslanova E.M., Vavulin D.N., Andreeva O.V., Lesnichiy V.V., Chivilikhin S.A., Popov I.Yu., Gusarov V.V. Light diffusion in colloidal suspensions of nanoparticles // European Optical Society Conferences at the World of Photonic Congress 2011. Munch. Germany
6. Scharl W. Light scattering from polymer solutions and nanoparticle dispersions. – Springer Laboratory. V. XIV, 2007.
7. Маслов В.П. Операторные методы. – М.: Наука, 1973.

8. Андреева О.В., Обыкновенная И.Е. Нанопористые матрицы НПС-7 и НПС-17 – возможность использования в оптическом эксперименте // Наносистемы: физика, химия, математика. 2010, Т.1, №1, С.37-53.
9. J.M. Pitarke, V.M. Silkin, E.V. Chulkov, P.M. Echenique. Theory of surface plasmons and surface-plasmon polaritons // Institute Of Physics Publishing Reports On Progress In Physics Rep. Prog. Phys. 70 (2007) 1–87
10. Альфимов А.В., Арысланова Е.М., Вавулин Д.Н., Андреева О.В., Темнова Д.Д., Лесничий В.В., Альмяшев В.И., Кириллова С.А., Чивилихин С.А., Попов И.Ю., Гусаров В.В. Диффузия света в среде с наноразмерными неоднородностями // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 72. С.105–109.

### УДК 339.9

## АНАЛИЗ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КИТАЯ И РОССИИ С ЦЕНТРАЛЬНОАЗИАТСКИМ РЕГИОНОМ

**А.А. Вершинина, Мурашова С.В.**

Рассматривается место Центральной Азии во внешней экономической политике Китая и России, анализируются интересы китайского и российского правительств к развитию внешнеэкономического сотрудничества с центральноазиатскими государствами. Также рассматривается возможность взаимовыгодного многостороннего сотрудничества как в системе «Россия – Китай – Центральная Азия», так и на институциональном уровне – внутри и между ЕврАзЭС и ШОС.

**Ключевые слова:** Китай; Россия; Центральная Азия; ШОС; ЕврАзЭС; Внешнеэкономическая политика; Внешнеэкономическое сотрудничество.

Распад СССР и возникновение на постсоветском пространстве целого ряда новых независимых государств – Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана – заставили мировые державы пересмотреть свою политику в отношении данного региона.

### Интересы Китая в ЦАР

Постепенное проникновение Китая в ЦА во второй половине 1990-х гг. и создание Шанхайской организации сотрудничества (ШОС), а затем и превращение ее в многопрофильную организацию укрепило положение Китая в центральноазиатском регионе (ЦАР). События 2001 г. и усиление США в ЦА также побудили КНР к пересмотру места Центральной Азии в иерархии ее внешнеполитических приоритетов и заставили искать пути для расширения присутствия в регионе через экономическое и энергетическое сотрудничество, которое на сегодняшний день представляет собой приоритетный аспект отношений между КНР и соседними государствами Центральной Азии.

Важно выделить торгово-экономическую сферу интересов, под которой понимается расширение торгово-экономических связей со странами региона на двусторонней основе с целью создания в регионе собственных «опорных баз» и освоение обширного центрально-азиатского рынка, а также использование его материального, технического, научного и иного потенциалов в интересах развития Китая и, прежде всего, его западных регионов. КНР рассчитывает на то, что развитие торгово-экономических отношений со странами центральноазиатского региона будет способствовать социально-экономическому развитию нестабильного и отсталого в экономическом отношении Синьцзян-Уйгурского Автономного Района.

Нельзя не отметить энергетическую заинтересованность Китая, которая заключается в расширении доступа к углеводородным ресурсам Каспийского региона.

В особенности Китай заинтересован в ресурсах Казахстана, Узбекистана и Туркмении. Так, например, запуск трубопровода «Туркмения–Узбекистан–Казахстан–Китай» 14 декабря 2009 решил судьбу Центральной Азии в контексте борьбы за регион России, стран Запада и Китая: с 2012 г. КНР станет главным потребителем энергоресурсов Центральной Азии, что обеспечит рост ее экономического, а затем и политического влияния в регионе. Это очень важный – по сути, поворотный момент в политике Китая в Центральной Азии.

Еще одно, не менее важное направление китайской активности в Центральной Азии – инвестирование в развитие альтернативных транспортных маршрутов. Использование транзитного потенциала Центральной Азии в целях организации сухопутного пути доставки китайских товаров в Европу и государства Ближнего и Среднего Востока тоже является основным интересом Китая в Центральной Азии. Оно ориентировано в основном на Киргизию и Казахстан.

И, наконец, нельзя не затронуть проблематику, связанную с активизацией многопрофильной деятельности ШОС и поддержание этой организации в качестве механизма, позволяющего Китаю воздействовать на Центральную Азию и сотрудничать с регионом на многосторонней основе, которая в большей степени ориентирована экономически.

Финансовое присутствие Китая в Центральной Азии является масштабным, а Китай и китайский бизнес уже занимают одно из первых, если не первое место среди других государств, компаний и финансовых институтов по объемам инвестиций, кредитов и активов. Если в конце 1990-х годов китайские финансовые ресурсы составляли менее 1 млрд. долларов (в виде инвестиций) и были представлены исключительно в нефтегазовой отрасли Казахстана, то за первые 10 лет XXI века их объем увеличился более чем в 20 раз, а сама китайская финансовая активность стала затрагивать, хотя еще и не равномерно, но уже все без исключения страны Центральной Азии. По состоянию на начало 2010 года общие объемы финансовых ресурсов, так или иначе вложенных Китаем в Казахстан, оцениваются нами не менее чем в 23,6 млрд. долларов, включая примерно 11 млрд. долларов инвестиций, 0,55 млрд. долларов кредитов и 12,1 млрд. долларов – приобретенных активов. В свою очередь, в остальных четырех странах Центральной Азии цифры несколько скромнее [1].

### **Интересы России в ЦАР**

На сегодняшний день у Российской Федерации нет официальной политики в отношении бывших союзных республик Центральной Азии. Они рассматриваются в контексте общей стратегии в рамках СНГ, которая определена Указом Президента РФ «Об утверждении стратегического курса Российской Федерации с государствами-участниками Содружества независимых государств» от 14 февраля 1995 года и действует до настоящего времени. [2]

Основа российских интересов – стремление к сохранению особых отношений между Россией и Центральной Азией в политической, экономической, военной, культурной и даже языковой сферах. Конечная цель российской политики в регионе состоит в интеграции в экономической, политической сферах и в сфере обеспечения безопасности.

Экономические интересы России в Центральной Азии имеют вполне практический характер. Главный из них – не простое наращивание объемов товарооборота, а удержание экономики стран региона в русле российской экономической системы, достижение их интеграции с Россией. Абсолютные объемы



внешней торговли России с центрально-азиатскими государствами невелики, но она по-прежнему является их важнейшим торговым партнером.

Самый высокий товарооборот с Россией имеет Казахстан – примерно 4,5 млрд долл. в год. Годовой товарооборот между Россией и другим крупным государством Центральной Азии, Узбекистаном, составляет около 1 млрд долл. Экономика других стран региона слабее, соответственно мал и абсолютный объем товарооборота между ними и Россией. Тем не менее, будучи прежде частью Советского Союза, страны Центрально-азиатского региона подвержены наиболее значительному влиянию экономики России, являясь естественным продолжением ее экономического пространства [3].

В то же время они представляют собой потенциальную опору для восстановления и расширения экономики России. Одной из целей, постоянно преследуемых Россией, является создание и сохранение единого экономического пространства СНГ. Несмотря на то, что экономические связи России со странами Центральной Азии во многом ослабели более чем за десятилетие, они по-прежнему продолжают поддерживать очень тесные отношения и имеют наибольшую перспективу для вхождения в единое экономическое пространство, создаваемое Россией. Центрально-азиатский регион располагает богатыми природными ресурсами и запасами полезных ископаемых. Здесь в больших объемах производятся нефть, природный газ, золото, хлопок и т. п. Вместе с тем Центральная Азия – это рынок сбыта российской техники и промышленных товаров, а также источник некоторых ресурсов, в которых Россия испытывает недостаток.

В июле 2010 года начал действовать Таможенный союз Белоруссии, Казахстана и России. По некоторым оценкам, создание Таможенного союза позволит стимулировать экономическое развитие и может дать дополнительно 15 % к ВВП стран-участниц к 2015 году. Более того, это позволит России уменьшить потери от укрепления торговых позиций Китая в Центральной Азии и иметь более позитивные позиции в ВТО. [4]

### **Возможность многостороннего сотрудничества России, Китая и ЦАР**

Как представляется, дальнейшее увеличение масштабов экономического присутствия Китайской Народной Республики в Центральной Азии напрямую затронет жизненно важные экономические интересы Российской Федерации. Дело в том, что за более чем 100-летний период пребывания России и Центральной Азии в рамках единых государств (Российской империи и СССР) между ними сформировалась жесткая экономическая взаимозависимость, которая за постсоветский период ослабла лишь в незначительной степени. В этой связи рекомендации по выводу экономических отношений КНР со странами ЦА на качественно более высокий уровень следует рассматривать в тесной взаимозависимости с интересами и политикой Российской Федерации.

Российско-китайское сотрудничество в центральноазиатском регионе базируется на реальных, но временно общих интересах. Здесь также возможно потенциальное соперничество вокруг энергоресурсов, учитывая потребности Китая в энергоносителях и российские преференции на экспорт центральноазиатских ресурсов вместо инвестирования в собственные. Соперничество может коснуться и урана, электроэнергии и драгоценных металлов.

Несмотря на сложность на пути развития взаимовыгодного экономического сотрудничества между Россией, Китаем и странами Центральной Азии, потенциал именно этого сотрудничества все же значителен как в рамках ЕврАзЭС, так и в рамках ШОС. Залогом этого является то, что только у России, Китая и стран Центральной

Азии объективно есть общий долгосрочный интерес – совместное экономическое освоение и развитие огромного внутриконтинентального пространства Евразии. Конечно, безусловными лидерами в реализации вышеуказанной грандиозной задачи могут быть Китай и Россия, однако и роль Центральной Азии представляется тоже очень важной.

Непосредственно прилегающий к российским и китайским границам центральноазиатский регион способен кардинально усилить экономический потенциал и России, и Китая, придать мощный импульс их развитию, стать важным фактором в укреплении российско-китайского стратегического партнерства. Прежде всего, это связано с огромными и разнообразными сырьевыми ресурсами Центральной Азии, достаточно благоприятными природно-климатическими условиями для их освоения и организации на этой базе промышленного производства, а также наличием развитой (еще в советское время) транспортной инфраструктуры и, соответственно, уникальных транзитных возможностей.

Однако только при наличии политической воли осознать главенство приоритета совместного экономического освоения внутренних пространств Евразии над всеми остальными приоритетами возможно обеспечение прорыва в комплексном экономическом развитии Центральной Азии, внутриконтинентальных территорий Китая и России. Поэтому очевидно, что именно на основе понимания этого можно будет говорить о налаживании механизмов комплексного и взаимовыгодного многостороннего сотрудничества в системе «Россия – Китай – Центральная Азия», а на институциональном уровне – внутри и между ЕврАзЭС и ШОС. [5]

В первую очередь необходима существенная активизация и принципиальное усиление координации деятельности внутри и между ЕврАзЭС и ШОС, у которых есть шансы превратиться в эффективные экономические блоки. Однако для этого на начальном этапе крайне важно существенно снизить появившуюся в результате распада СССР фрагментацию экономического пространства «Россия – Центральная Азия» и преодолеть сырьевую ориентацию экономик стран региона и России. Очевидно, что основная нагрузка по решению данной задачи должна лечь на ЕврАзЭС. При этом на начальном этапе роль ШОС должна сводиться к обеспечению политической поддержки Китаем интеграционных процессов внутри ЕврАзЭС. Как представляется, данная поддержка будет иметь важное значение для стран-членов ЕврАзЭС особенно в плане противодействия вероятному давлению Запада, так как можно с уверенностью сказать, что многие западные страны крайне негативно воспримут процесс экономической реинтеграции на постсоветском пространстве.

Во-вторых, для того чтобы ЕврАзЭС и ШОС не были бы дублирующими проектами, на начальном этапе целесообразно форсирование полномасштабной экономической интеграции в рамках ЕврАзЭС, а на последующем этапе – интеграции в рамках ШОС. В итоге, это и должно обеспечить последовательность и синхронность усилий в рамках ЕврАзЭС и ШОС в достижении системного прорыва в комплексном экономическом развитии внутренних пространств Евразии. При этом на начальном этапе Китай может сыграть решающую роль в налаживании и развитии многостороннего сотрудничества в инновационной сфере в рамках ШОС: координации совместных усилий стран-членов в плане производства интеллектуальной продукции (перспективные идеи, научные открытия, технологические разработки, и т.п.) в различных сферах деятельности.

И в-третьих, залогом обеспечения плодотворного многостороннего сотрудничества на всех этапах экономической интеграции в рамках ЕврАзЭС и ШОС может стать консолидация интеллектуального капитала стран-членов ЕврАзЭС и ШОС

путем интенсификации обмена ценной информацией научного, технологического, экономического и, безусловно, аналитического характера.

### Заключение

Сегодня и Российская Федерация, и Китайская Народная Республика, рассматривая Центральную Азию в качестве важного фактора укрепления своих международных позиций, а также стратегического источника сырьевых ресурсов форсируют процесс сближения с центральноазиатскими странами, каждый, при этом делая акценты на приоритетных для себя направлениях сотрудничества.

В целом перспективы отношений между Россией, Китаем и Центральной Азией во многом зависят не только и не столько от ЦА и КНР, сколько именно от РФ, так как только она по своему историческому, геополитическому и геоэкономическому потенциалу способна в корне изменить ход уже запущенных на пространстве Центральной Евразии центробежных тенденций. Экономическая ре-интеграция постсоветского пространства под эгидой России принципиально важна потому, что только вместе страны бывшего СССР смогут сформулировать и отстаивать общие, долгосрочные и стратегические интересы, которые неизбежно будут вести их к формированию союзных отношений с КНР. В целом, осуществление поэтапной экономической интеграции в рамках ЕврАзЭС и ШОС в долгосрочной перспективе могло бы привести к формированию мощного экономического блока, включающего Россию, Китай и страны Центральной Азии. Со временем к данному блоку могли бы присоединиться ряд других постсоветских государств и других стран Евразии.

В противном случае, Китай будет вынужден выстраивать сугубо эгоистическую схему отношений и с Россией, и с Центральной Азией, руководствуясь лишь собственными интересами. Это представляется вполне естественным, так как Пекин вряд ли станет учитывать некие «стратегические и долгосрочные интересы» Москвы и столиц стран региона, если они сами о них не думают.

### Литература

1. Хаджиева Г.У. Казахстан и Китай: стратегические подходы к экономическому сотрудничеству. Центральная Азия-Китай: состояние и перспективы сотрудничества. – Алматы: Казахстанский институт стратегических исследований при Президенте Республики Казахстан, 2008. – 296 с.;
2. Никонов В. Политика России в Центральной Азии. ИД:СА&СС Press®АВ, Швеция, 2010. Электронный ресурс. – Режим доступа: [http://www.ca-c.org/journal/08-1997/st\\_12\\_nikonov.shtml](http://www.ca-c.org/journal/08-1997/st_12_nikonov.shtml), (св.) – Загл. с экр.
3. Жуков С.В., Резникова О.Б. Центральная Азия и Китай: экономическое взаимодействие в условиях глобализации. – М.: ИМЭМО РАН, 2009. – 180 с.
4. Гумеров Р.А. Геополитические интересы США, Китая и России в Центральной Азии. Автореферат.
5. Парамонов В., Строков А., Столповский О. Выстраивание взаимовыгодных экономических отношений между Китаем и Центральной Азией невозможно без региональной экономической интеграции с Россией. // Центральная Евразия – Экономика: 27.11.2010 Электронный ресурс. (режим доступа: <http://ceasia.ru/ekonomika/vistraivanie-vzaimovigodnich-ekonomicheskich-otnosheniy-mezhdu-kitaem-i-tsentralnoy-aziey-nevozmozhno-bez-regionalnoy-ekonomicheskoy-integratsii-s-rossiey.html>, св.) – Загл. с экр. – Язык: рус.

УДК 51-74

## ГЕНЕРАТОР КОХА ДЛЯ ОДНОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

**А.А. Виноградова**

Показана проблема анализа и обработки границ объектов на изображениях. Так как все изображения имеют дробную структуру, необходимо при их исследовании использовать фрактальные образы. С помощью фрактальной генерации одномерных объектов можно исследовать количественные оценки качества границ объектов на изображении. В статье представлена генерация Коха для одномерных объектов.

Ключевые слова: фрактал, фрактальная размерность, генератор Коха, границы пожара.

### Введение

В цифровой обработке изображений широко применяется специализированное оборудование, такое как процессоры с конвейерной обработкой инструкций и многопроцессорные системы. Большинство методов обработки одномерных сигналов применимы и к двумерным сигналам, которыми являются изображения. Некоторые из этих одномерных методов значительно усложняются с переходом к двумерному сигналу. Одна из проблем данной области – это решение задач, связанных с машинным восприятием изображений. Часто эта информация мало похожа на визуальные признаки, к которым привык человеческий глаз. Типичными задачами машинного восприятия, в которых интенсивно используются методы обработки изображений, являются автоматическое распознавание символов, системы машинного зрения для автоматизации сборки и контроля продукции.

В промышленной сфере машинного зрения для автоматизации сборки и контроля продукции возникает вопрос о качестве и четкости изображения. Задача любой оптической системы заключается в создании резкого, чистого изображения, свободного от шумов и искажений. Это представляет определенные проблемы из-за того, что каждая система имеет некоторые ограниченные возможности, а изображения могут быть испорчены из-за определенного стечения обстоятельств съемки. Развитые сегодня методы цифровой обработки изображений, как для бесконтактных оптических измерений, так и для тепловизионных датчиков, нуждаются в усовершенствовании. В настоящее время существуют различные виды программ для обработки изображения. В основном это потребительские пакеты, которые имеют качественные оценки обработки изображения. Необходимо же вычислить количественные оценки качества обработки изображения. Проблеме количественной оценке качества изображений были посвящены работы Воронцова Е.А., Орлова С.В., оценки были проведены с помощью «норм матриц». Но работы не были проработаны окончательно, в них не использовалась дробная геометрия. Все изображения и сигналы имеют дробную структуру, поэтому необходимо использовать фрактальные оценки качества изображений. Вследствие этого существует задача решения проблемы количественной оценки качества изображений при использовании дробной геометрии. Для этого в работе предлагается использование фракталов.

### Фракталы

Фракталами называются геометрические объекты: линии, поверхности, пространственные тела, имеющие сильно изрезанную форму и обладающие свойством самоподобия. Так, при увеличении, маленькие фрагменты фрактала получают очень похожими на большие. Для количественного описания фракталов достаточно одной

величины – размерности Хаусдорфа или показателя скейлинга, описывающего сохраняемость геометрии или статистических характеристик при изменении масштаба.

Познавательная сила понятия фрактальной размерности состоит в том, что с его помощью можно упорядочивать исследуемые процессы по свойствам хаотичности или сложности и, таким образом, классифицировать (разделять) их.

При описании свойств фрактала важную роль играет такая его характеристика как фрактальная размерность. Пусть  $d$  – обычная евклидова размерность пространства, в котором находится наш фрактальный объект ( $d=1$  – линия,  $d=2$  – плоскость,  $d=3$  – обычное трехмерное пространство). Покроем теперь этот объект целиком  $d$ -мерными «шарами» радиуса  $l$ . Предположим, что нам потребовалось для этого не менее чем  $N(l)$  шаров. Тогда, если при достаточно малых  $l$  величина  $N(l)$  меняется с  $l$  по степенному закону

$$N(l) \sim 1/l^D, \quad (1)$$

то  $D$  называется размерностью Хаусдорфа–Безиковича или фрактальной размерностью этого объекта.

Используя понятие фрактальной размерности, Мандельброт дал более строгое, чем приведенное выше, определение фрактала. Согласно этому определению, фрактал представляет собой объект, размерность Хаусдорфа–Безиковича которого больше его топологической размерности (0 – для россыпи точек, 1 – для кривой, 2 – для поверхности и т.д.). Формулу (1) можно переписать также в виде

$$D = -\lim_{l \rightarrow 0} \frac{\ln N(l)}{\ln l}. \quad (2)$$

Это и служит общим определением фрактальной размерности. В соответствии с ним величина  $D$  является локальной характеристикой данного объекта.

В качестве примера регулярного фрактала приведем кривую Коха. Кривая Коха строится следующим образом (см. рис. 1). Пусть  $K_0$  – начальный отрезок (рис. 1, а). Уберем среднюю треть и добавим два новых отрезка такой же длины, как показано на рис. 1, б. Назовем полученное множество  $K_1$ . Повторим данную процедуру многократно, на каждом шаге заменяя среднюю треть двумя новыми отрезками. Обозначим через  $K_n$  фигуру, получившуюся после  $n$ -го шага. Последовательность кривых  $\{K_n\}_{n=1}^{\infty}$  сходится к некоторой предельной кривой  $K$ , которая и называется кривой Коха.

Подсчитаем ее фрактальную размерность. Возьмем в качестве длины длину начального отрезка  $l=1$ , тогда число отрезков такой длины, которые покрывают кривую Коха на этом (нулевом) шаге (рис. 1, а), равно  $N_l(1)=1$ . Затем при переходе к следующему шагу (рис. 1, б) мы имеем  $l'=1/3$ , а число отрезков  $N(l')=4$ . Поэтому фрактальная размерность кривой Коха равна:

$$D = -\frac{\ln(1/4)}{\ln(3)} = \frac{\ln 4}{\ln 3} = 1,2618. \quad (3)$$

Эта величина больше единицы (топологической размерности линии), но меньше евклидовой размерности плоскости,  $d=2$ , на которой расположена кривая.

Реальные физические объекты и сигналы, даже обладающие признаками самоподобия, очень редко могут быть описаны с помощью лишь одной величины фрактальной размерности. Именно поэтому в последнее время получил большое распространение анализ, основанный на теории *мультифракталов* – неоднородных фрактальных объектов. Для характеристики мультифрактала недостаточно одной величины, его фрактальной размерности, а необходим бесконечный спектр таких размерностей. Идея мультифрактального анализа состоит в разложении исследуемого

множества со сложной статистикой по множествам однородных фракталов с четко выраженной фрактальной размерностью.

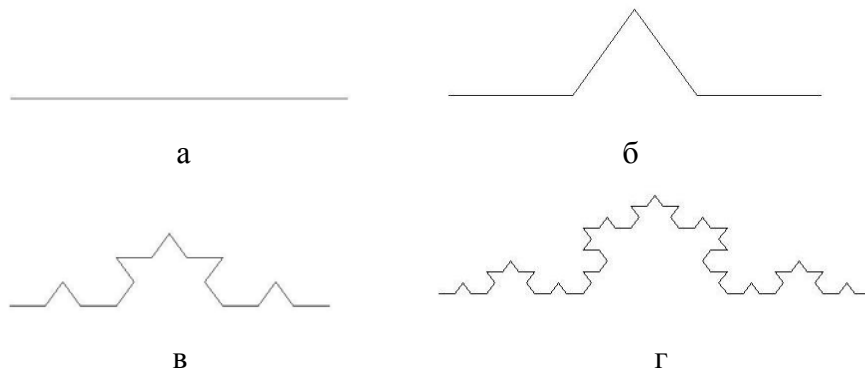


Рис. 1. Построение кривой Коха

Примером неравномерности распределения точек в ячейках может служить сравнение треугольника Серпинского в виде однородного фрактала и его же в виде мультифрактала (рис. 2, а, б).

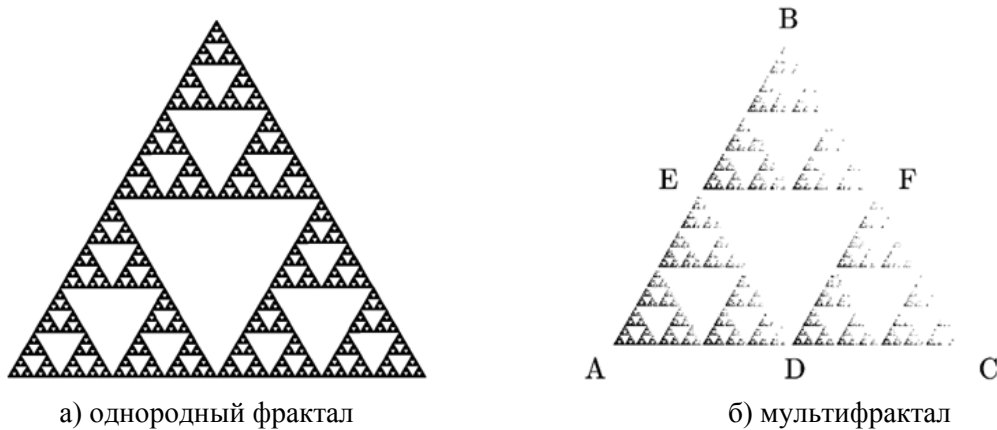


Рис. 2 Треугольник Серпинского: а – однородный фрактал, б - мультифрактал

Под словом «неоднородный» понимается неравномерное распределение точек множества по фракталу. Причина неоднородности – разные вероятности заполнения геометрически одинаковых элементов фрактала, или в общем случае несоответствие вероятностей заполнения геометрическим размером соответствующих областей.

Стандартный метод мультифрактального анализа основан на рассмотрении обобщенной статистической суммы  $Z(q, \varepsilon)$ , в которой показатель степени может принимать любые значения в интервале  $-\infty < q < +\infty$ :

$$Z(q, \varepsilon) = \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i^q(\varepsilon). \quad (4)$$

Спектр обобщенных фрактальных размерностей  $D_q$ , характеризующих данное распределение точек в области  $\zeta$ , определяется с помощью соотношения

$$D_q = \frac{\tau(q)}{q-1}, \quad (5)$$

где нелинейная функция  $\tau(q)$  (скейлинговая экспонента) имеет вид

$$\tau(q) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(Z(q, \varepsilon))}{\ln \varepsilon}. \quad (6)$$

Если функция  $D_q$  как-то меняется с  $q$ , то рассматриваемое множество точек является мультифракталом.

Таким образом, мультифрактал в общем случае характеризуется скейлинговой экспонентой  $\tau(q)$ , определяющей поведение статистической суммы  $Z(q, \varepsilon)$  при  $\varepsilon \rightarrow 0$ .

При  $q \rightarrow +\infty$  основной вклад в обобщенную статистическую сумму (4) вносят ячейки, содержащие наибольшее число частиц  $n_i$  в них и, следовательно, характеризующиеся наибольшей вероятностью их заполнения  $p_i$ . Наоборот, при  $q \rightarrow -\infty$  основной вклад в сумму дают самые разреженные ячейки с малыми значениями заполнения  $p_i$ . Таким образом, функция  $D_q$  показывает, насколько неоднородным является исследуемое множество точек  $\zeta$ .

### Фрактальные свойства границ

Сейчас очевидными являются фрактальные свойства лесных пожаров, это вытекает из тесной аналогии фронта горения (рис. 3) и береговой линии. Фрактальный характер свойства береговой линии рассмотрен подробно в работах Б. Мандельброта.

Одна из главных характеристик лесного пожара – скорость его распространения  $V$ . Нормальная скорость пламени лесного пожара, если фронт горения представляет гладкую кривую, может быть оценена как  $V_B = \frac{d}{t}$ . Здесь  $t$  – характерное время горения;  $d$  – ширина зоны горения. Фрактальный характер кривой фронта горения эффективно будет увеличивать значение  $d$  по сравнению с гладким фронтом.

Длина фрактальной кривой существенно зависит от масштаба:  $L = L_0 \left( \frac{l}{z} \right)^{D-1}$ .

Здесь  $D$  – значение фрактальной размерности;  $L_0$  – значение  $L$  для гладкой кривой  $D=1$ .

В нашем случае  $z = \frac{h}{h_{\min}}$ , где  $h$  – размер зоны горения;  $h_{\min}$  – минимальное расстояние между фрагментами в зоне горения. Величина  $h$  имеет порядок размера участка выгоревшего леса,  $h_{\min}$  – порядок характерного расстояния между деревьями и кустарниками горящего леса. Значение  $D$  можно оценить по измерению фрактальной размерности участка леса до возгорания по данным аэрофотосъемки.



Рис. 3 Фронт горения лесного пожара

Как фрактальная размерность фронта горения, так и фрактальная размерность изображения участка леса на снимке определяются геометрией расположения его деревьев и кустов, поэтому вполне разумно считать их значения достаточно близкими.

При изучении границ на изображении существует проблема в создании фрактальных образов одномерных объектов (эллипсы, углы, окружности, синусоиды – протяженные замкнутые и угловые).

Кривая Коха (или генератор Коха) (рис. 1) – один из самых типичных детерминированных фракталов. Она была изобретена в девятнадцатом веке немецким математиком по имени Хельге фон Кох, который, изучая работы Георга Кантора и Карла Вейерштрассе, натолкнулся на описания некоторых странных кривых с необычным поведением. Инициатор – прямая линия. Генератор – равносторонний треугольник, стороны которого равны трети длины большего отрезка. Эти треугольники добавляются к середине каждого сегмента снова и снова. Кривая Коха имеет размерность  $\ln 4 / \ln 3 = 1.261859507$ .

Используя кривую Коха, можно сгенерировать одномерные объекты для дальнейшего исследования точности границ изображений. Ниже приведены примеры генерации некоторых одномерных объектов: окружности (рис. 4), угол (рис. 5), эллипса (рис. 6), синусоиды (рис. 7).

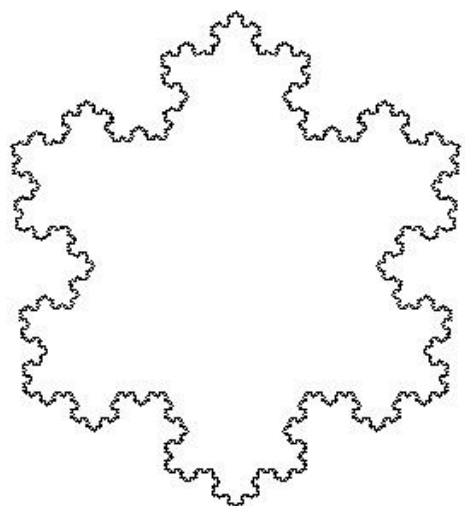


Рис. 4 Генератор на окружности

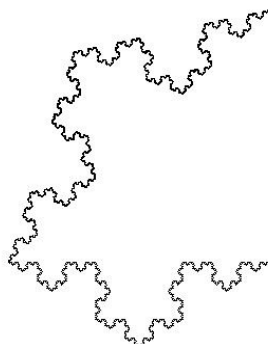


Рис. 5. Генератор на угле



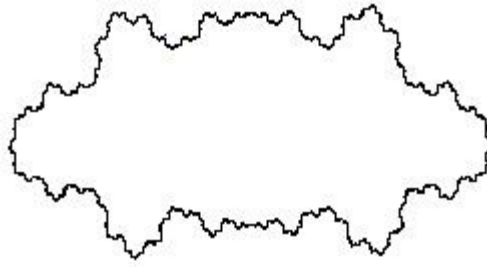


Рис. 6. Генератор на эллипсе



Рис. 7. Генератор на синусоиде

### Выводы

Генерация одномерных объектов будет очень полезна при исследовании границ объекта на изображениях, в том числе границ фронта горения лесного пожара и объектов, полученных теневым способом измерений, границ береговых линий.

### Литература

1. Виноградова А.А./ Фрактальная функция и показатель Херста // Сборник тезисов VIII Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых. Выпуск 2. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011.С. 316.
2. Виноградова А.А., Калитеевский Д.Н./ Фрактальный генератор Коха для ковра Серпинского // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО, Выпуск 48. 2008. С. 100– 104.
3. Виноградова А.А., Польте Г.А. (Недоцука)/ Приборы для бесконтактных измерений деталей приборов // Сборник трудов Девятой сессии международной научной школы «Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов» – СПб: ИПМАШ РАН, 2009. С. 383–385.
4. Виноградова А.А., Коваленко П.П., Польте Г.А. (Недоцука)/ Вейвлет-фрактальная обработка изображений // Сборник трудов VI Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых. Выпуск 4. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009.С. 72– 76.
5. Виноградова А.А., Польте Г.А. (Недоцука), Коваленко П.П., / Использование нечеткой логики для анализа и обработки изображений // Сборник трудов VI Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых. Выпуск 4. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. С. 77– 80.
6. Виноградова А.А., Трутненко С.В./ Сравнительные особенности программ мультифрактального анализа // Известия вузов. Приборостроение. Июль 2011 г.
7. Гашников М.В, Глузов Н.И., Ильясова Н.Ю., Мясников В.В., Попов С.Б., Сергеев В.В., Сойфер В.А., Храмов С.Г., Чернов А.В., Чернов В.М., Чичева М.А., Фурсов В.А. Методы компьютерной обработки изображений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
8. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
9. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М., 2002. 584 с.
10. Яне Б./ Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2007.

УДК 535.14 (06)

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОРИСТЫХ СТЕКОЛ В РАЗРАБОТКАХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

**В.Д. Гавричев, А.Л. Дмитриев, Е.И. Котова, Е.М. Никущенко**

Волоконно-оптические измерители и датчики температуры сегодня активно используются в современной электроэнергетике. Важным требованием, предъявляемым к таким устройствам, является нечувствительность к воздействию сильных электрических и магнитных помех, а также технологичность производства и низкая стоимость. Рассмотрены принцип действия и конструкция предложенного нового волоконно-оптического датчика температуры (ВОДТ), чувствительным элементом которого является тонкая пластина из пористого стекла, пропитанного анестезином, оптические свойства которого резко изменяются вблизи точки фазового перехода жидкость–твердое тело, в окрестности 92 °С. Приведен краткий обзор характеристик пористых стекол, пригодных к использованию в таком ВОДТ, описаны результаты экспериментальных измерений температурной зависимости пропускания пористого стекла, содержащего анестезин.

**Ключевые слова:** оптическое волокно, температура, пористое стекло, фазовый переход.

Области практического использования измерителей и датчиков температуры постоянно расширяются по мере развития методов и средств измерений температуры и уровня их технической реализации. Одним из перспективных направлений применения измерителей и датчиков температуры является электроэнергетика. Мониторинг состояния электротехнического оборудования современных систем силовой энергетики является важнейшим условием их надежности и долговечности в эксплуатации. Большое значение при построении контрольно-измерительных устройств для такого мониторинга имеет разработка недорогих при массовом производстве и безотказных в работе измерителей и датчиков температуры [1]. По мере увеличения передаваемых мощностей в энергетике создание оптико-электронных датчиков температуры, нечувствительных к сильным электрическим и магнитным полям, положительно скажется на развитии всей отрасли.

Сегодня известно множество разновидностей датчиков и измерителей температуры с непрерывным и дискретным отсчетами данных. Среди них оптические измерители и датчики температуры вызывают особый интерес, благодаря высокой точности измерений, хорошим массогабаритным показателям и, особенно, малой чувствительности к внешним электрическим и магнитным помехам [2, 3]. Такие приборы нередко должны выполнять функции логических устройств, формирующих выходной аварийный сигнал при превышении измеряемой температуры объекта заданного порогового значения. Порог срабатывания такого датчика температуры обычно устанавливается регулировкой электронного усилителя, включенного в электрическую цепь термодатчика, при этом действие внешних электрического и магнитного полей, обуславливающих нагревание датчика вследствие токов Фуко, вносит существенные помехи и уменьшает точность и показатели надежности датчика. Эту проблему решает волоконно-оптический датчик температуры (ВОДТ) с чувствительным элементом, не содержащим металлических и полупроводниковых частей. В качестве такого диэлектрического чувствительного элемента для ВОДТ отлично подходит импрегнированное органическими веществами пористое стекло.

Пористое стекло – это кварцoidная матрица композиционных материалов, оптический материал, получаемый из щелочно-боросиликатных стекол путем их обработки в растворах кислот и щелочей. Различные условия изготовления пористых стекол, время обработки, концентрация и температурный режим растворов кислот и щелочей по-разному влияют на образование в щелочно-боросиликатных стеклах пористой структуры, определяя тем самым размеры и конфигурацию пор [4]. В зависимости от размеров, формы и распределения неоднородностей среды изменяются

характеристики рассеяния ею излучения. Хорошо известно релеевское рассеяние, при котором размеры фазовых неоднородностей намного меньше длины волны рассеиваемого излучения. Наличие более крупных неоднородностей в ВПС приводит к более сложному дифракционному рассеянию и рассеянию Ми. В реальных образцах нельзя исключать наличие как мелких, так и крупных неоднородностей (поскольку локальная концентрация мелких неоднородностей может рассматриваться как макровключение), что приводит к сложной картине рассеяния света. Импрегнирование пористых стекол с размерами пор 0.5–30 нм органическими веществами, фазовое состояние которых изменяется при превышении определенной пороговой температуры, создает возможность изготовления монолитных высококремнеземных материалов (кварцоидов) с заданными оптическими и температурными свойствами. В них пористое стекло является матрицей, содержащей изменяющие свои свойства в зависимости от температуры органические вещества (например, парафин, анестезин, нафталин, трибетиламин, бензотриазол) или смеси таких веществ. На этом принципе возможно создание эффективного чувствительного элемента для волоконно-оптического датчика температуры как порогового типа, так и с непрерывным отсчетом показаний температуры.

Чувствительный элемент оптического датчика температуры располагается между центрированными относительно друг друга многомодовыми оптическими волокнами. Пропускание света в чувствительном элементе зависит от его температуры, при этом рабочее вещество, содержащееся в микропорах стекла, рассеивает излучение в зависимости от температуры окружающей среды. Спектральные зависимости светопропускания пористых пластин толщиной 1.8 мм с различными диаметрами пор демонстрируют отсутствие строгой связи величины светопропускания микропористых стекол с размерами их пор. Так, образцы на рис. 1 с различающимися почти в два раза размерами пор 1–6.7 нм и 2–2.5 нм имеют одинаковое пропускание в видимом диапазоне длин волн, а образец с наибольшими размерами пор 5–31 нм пропускает свет лучше, чем более тонкопористые образцы 3–3.6 и 20 нм; 4–6.5 и 9.5 нм. У всех образцов наблюдается одновременное уменьшение светопропускания с уменьшением длины волны света.

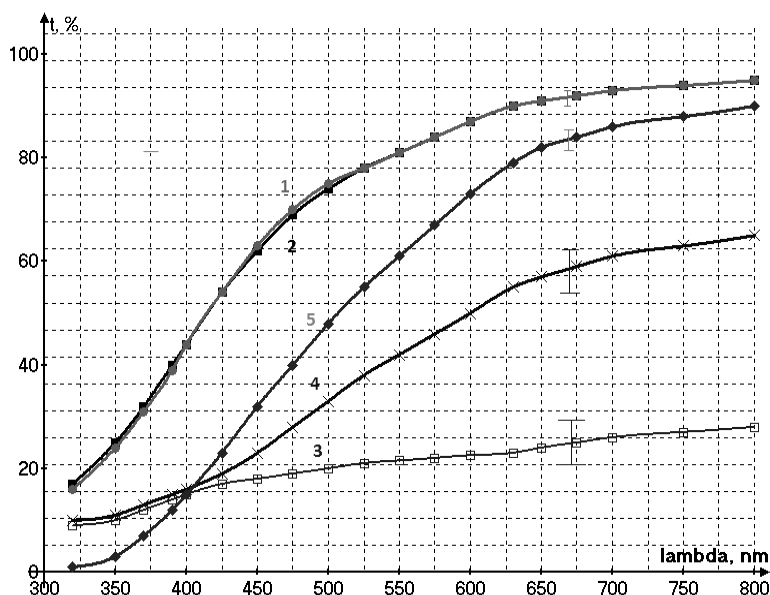


Рис. 1. Спектральные зависимости светопропускания пористых пластин толщиной 1.8 мм с различными диаметрами пор [5]. Диаметр, в Å: 1 – 67, 2 – 25, 3 – 36 и 200, 4 – 65 и 95, 5 – 310. Режимы химической проработки: концентрация (М) и температура (°С) соответственно: 1 –  $\text{ZnCl}_2$ , 50; 2 –  $0.1 \text{ HNO}_3$ , 50; 3 –  $0.1 \text{ HCl}$ , 100; 4 –  $\text{ZnCl}_2$ , 70; 5 –  $\text{ZnCl}_2$ , 50+0.5KOH, 20.

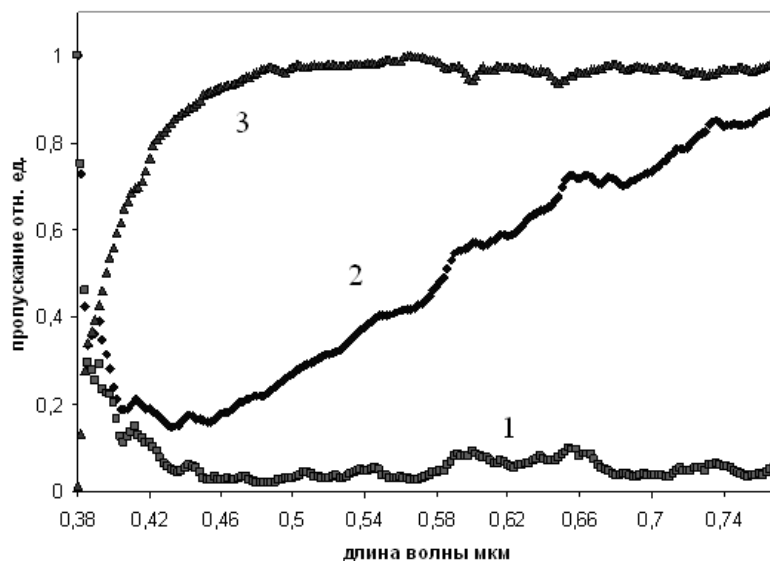


Рис. 2. Светопропускание пористых стекол: 1 – образец № 2 при комнатной температуре, 2 – образец № 1, 3 – образец № 2 при температуре  $T > 92^{\circ}\text{C}$

В исследованиях пропускания импрегнированного анестезином пористого стекла, температура фазового перехода которого составляет  $92 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ , в качестве оптического источника использовался гелий-неоновый лазер на длине волны 633 нм. На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости пропускания пористых стекол № 1 (средний диаметр пор 2 нм и пористость 30%) и № 2 (диаметр пор 24 нм и пористость 50%), импрегнированного органическим материалом анестезин. Как показали прямые измерения мощности излучения, прошедшего образец № 2, максимальное значение светопропускания пропитанного стекла при температуре более  $92^{\circ}\text{C}$  более чем в 100 раз превышает пропускание холодного образца.

Преимущества использования пористого стекла в качестве чувствительного элемента волоконно-оптического датчика температуры состоят в следующем:

- высокая надежность и точность измерений;
- датчик изготовлен из диэлектрических материалов, не содержит металлов и полупроводниковых компонент;
- датчик нечувствителен к электромагнитным полям, вибрациям, перепаду давления;
- простой принцип действия датчика;
- простая и технологичная конструкция датчика;
- малая инерционность датчика;
- малая стоимость.

Высококремнеземные пористые стекла (ВПС) представляют собой заготовки различной конфигурации с наноразмерными сквозными порами, обладающие уникальным комплексом свойств: термической, химической, микробиологической и радиационной устойчивостью, стабильностью оптических характеристик во времени, прозрачностью в широком (видимом) диапазоне длин волн в сочетании с регулируемыми структурными характеристиками. ВПС обладают способностью к активной хемосорбции самых разнообразных веществ, возможностью их стерилизации и регенерации. Импрегнирование таких стекол органическими материалами, меняющими свое фазовое состояние, дает возможность создания недорогого и высокоэффективного чувствительного элемента волоконно-оптического датчика температуры. Диэлектрические свойства такого датчика позволяют, благодаря малой чувствительности ВПС к сильным электрическому и магнитному полям, использовать

такой волоконно-оптический датчик температуры для мониторинга устройств силовой электроэнергетики.

### Литература

1. Фрайден Дж. Современные датчики // Справочник. – М: Техносфера, 2006. – 592 с.
2. Джексон Р. Г. Новейшие датчики – М: Техносфера, 2007. – 384 с.
3. Антропова Т.В. Физико-химические процессы создания пористых стекол и высококремнеземных материалов на основе ликвирующих щелочно-боросиликатных систем // Автореферат на соискание ученой степени доктора химических наук. Санкт-Петербург. 2005. 45 с.
4. Есикова Н.А. Оптические свойства пористых стекол // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2007. №37. С. 109– 117.
5. Роскова Г.П., Цехомская Т.С., Вензель Б.Я. Светопропускание пористых стекол различной структуры // Физика и химия стекла. № 14, 6, 1988. С. 911– 914.

УДК: 004.627

## СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ВИДЕО НА ОСНОВЕ СТАНДАРТОВ H.264 И WEBM (VP8)

О.Д. Гедрис, А.Ю. Тропченко

H.264 – один из самых распространенных стандартов сжатия видеоданных. Является запатентованным. Видеоформат WebM основан на открытом видеокодеке VP8, не требует лицензионных отчислений. Анализируются форматы H.264 и WebM, выявляются их достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** H.264, WebM, VP8, сжатие видео.

H.264 – стандарт (совокупность формализованных алгоритмов) сжатия видеоданных, принятый Международной организацией по стандартизации (ISO). H.264 является одним из наиболее распространенных видеостандартов [1].

H.264 делает ставку на В-кадры, когда кодировщик отбирает максимум 16 кадров вперед и назад. Это позволяет сжать изображение на 20% сильнее, чем при Р-кадрах, которые ссылаются только на предыдущий Р- или I-кадр [2]. Поскольку технология В-кадров защищена патентом, кодек VP8 ограничивается Р-кадрами. Кодер может выбирать порядок изображений для компенсации движения и для воспроизведения с высокой степенью гибкости.

Возможности H.264:

- Многокадровое предсказание – использование сжатых ранее кадров в качестве опорных, независимость порядка воспроизведения изображений, компенсация движения с переменным размером блока. Кодер может выбирать порядок изображений для компенсации движения и для воспроизведения с высокой степенью гибкости.

- Сжатие макроблоков без потерь – метод представления макроблоков без потерь в РСМ (ИКМ), при котором видеоданные представлены непосредственно, позволяющий точно описывать определенные области и допускающий строгое ограничение на количество закодированных данных для каждого макроблока.

- Функции устойчивости к ошибкам – улучшенный метод беспотеряного представления макроблоков, позволяющий точно описывать определенные области, при этом обычно затрачивая существенно меньше битов, чем РСМ (поддерживается не во всех профилях).

WebM – открытый видеоформат, представленный компанией Google в 2010 году. Формат не требует лицензионных отчислений, основан на открытых видеокодеке VP8, аудиокодеке Vorbis и подмножестве медиаконтейнера Matroska

VP8 был спроектирован для широкого круга устройств – от процессоров ARM9 60МГц до современных многоядерных процессоров с высокой степенью распараллеливания вычислений [3]. Особенности VP8:

- Golden Frames – введен новый тип ключевых кадров. Это опорные кадры, хранящиеся в отдельном буфере и допускающие ссылку на себя спустя значительное время после их декодирования.
- Повышенная устойчивость к потере пакетов (кадры типа Recovery строятся не на базе непосредственно предшествующих кадров).
- Фильтрация артефактов от DCT-кодирования, может применяться по-разному к частям кадра с быстрым движением, с медленным движением, к неизменным частям.
- Возможно кодирование с множеством слабо зависимых подпотоков, позволяющее масштабировать декодирование на многоядерных архитектурах.
- Декодирование адаптировано как к SIMD-расширениям, так и к процессорам без них, со слабой (медленной) поддержкой байтовых операций (например, для ARM9 или ARM11 сложение 4 пар байт может быть заменено на одно сложение пары 32-битных слов, за счет того, что кодек гарантирует отсутствие переполнения или насыщения в некоторых операциях). Для архитектур без поддержки вывода в формате YUV возможно определение другого цветового пространства, более близкого к RGB.
- Упрощено по сравнению с предыдущими кодеками On2 энтропийное кодирование и субпиксельное предсказание для ускорения декодирования.
- Кодек имеет профили, оптимизированные для проведения видео-конференций в реальном времени.

В ходе анализа был использован следующий софт: для H.264: ffmpeg – Fast Forwarding Mpeg, version 0.6.1, для VP8 – fvrp8.

Сравнение видеокодеков H.264 и VP8 производилось по соотношению степени сжатия и битрейта (см. рис. 1), соотношению PSNR и битрейта (рис. 2), соотношению SSIM и битрейта (рис. 3).

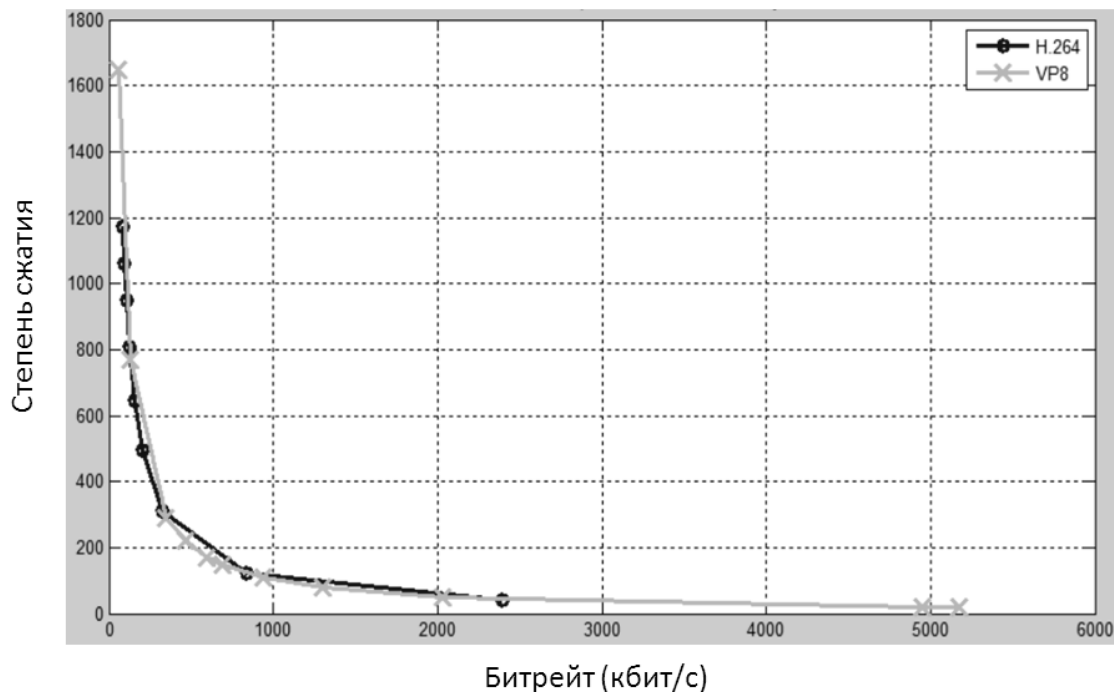


Рис. 1. Соотношение степени сжатия и битрейта

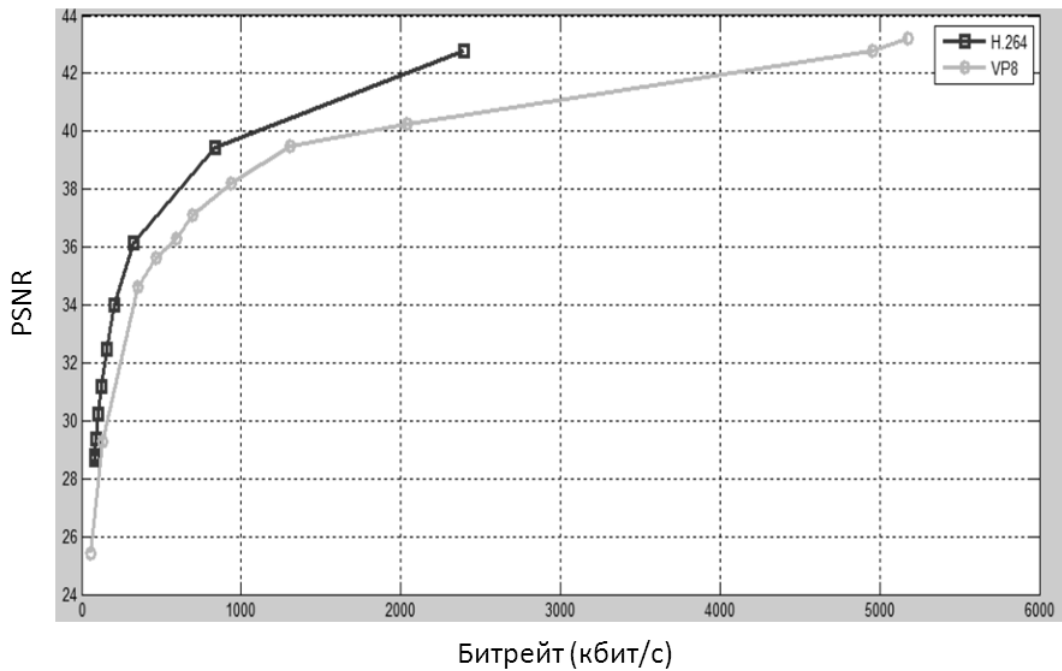


Рис. 2. Соотношение PSNR и битрейта

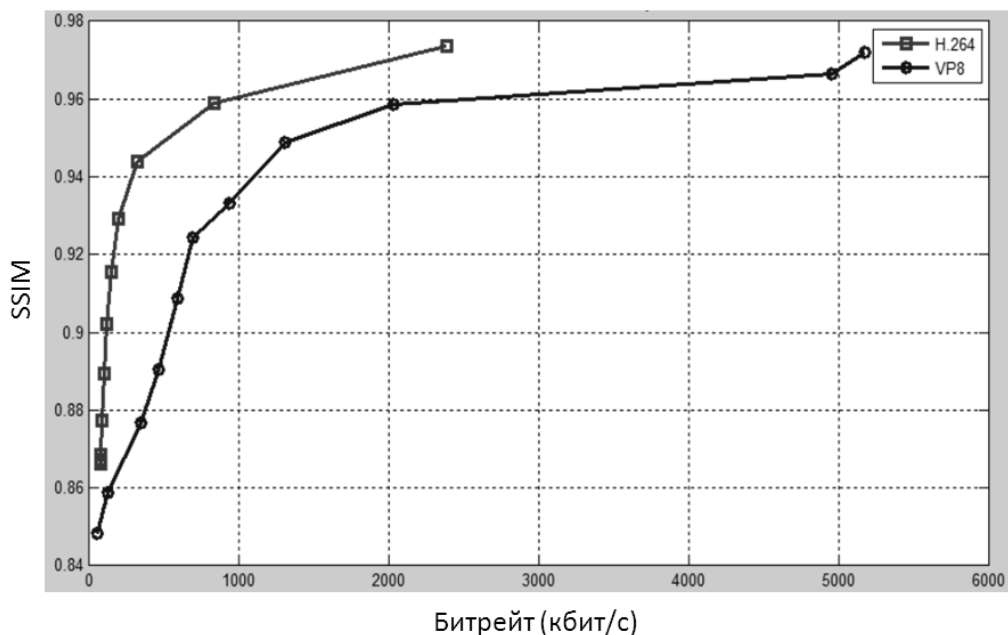


Рис. 3. Соотношение степени SSIM и битрейта

Сравнение для PSNR и для SSIM показывает, что H.264 значительно превосходит VP8, но он практически сравним с VP8 при низком битрейте.

Сравнение зависимости степени сжатия от битрейта показывает, что H.264 и VP8 имеют схожие показатели, за исключением низкого битрейта.

По времени кодирования H.264 в 15–20 раз быстрее VP8.

По результатам можно сказать, что кодек VP8 в целом хорош, но для качественной видеосвязи и, в особенности, для видеоконференцсвязи с высокой четкостью его функциональных возможностей недостаточно по сравнению с H.264. Использование VP8 оправдано в условиях, где главным критерием являются низкие требования к производительности процессора.

## Литература

1. Ричардсон Ян. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 - стандарты нового поколения: – СПб: Техносфера, 2005. – 368 с.
2. The H.264 Video Coding Standard. IEEE Computer Society Press, 2006.
3. VP8 specification [Электронный ресурс] / LWN, – Электрон, дан. – 2011. – Режим доступа: <http://lwn.net/Articles/422958/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

УДК 535.32

### МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕФРАКТОМЕТРА АББЕ ПУТЕМ ЕГО КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ И ОБРАБОТКИ ОКУЛЯРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

А.М. Голубев

В статье рассматривается принцип модернизации рефрактометра Аббе, а также методика проведения измерений на нем. Показана возможность увеличения точности производимых на рефрактометре Аббе измерений за счет компьютерной обработки окулярного изображения с целью выделения четкой границы темной и светлой частей поля, которая служит для определения показателя преломления образца.

**Ключевые слова:** рефрактометр Аббе, показатель преломления, окулярное изображение, точность измерений

С развитием информационных технологий появляется больше возможностей для улучшения качества проводимых исследований, повышения точности измерений. Компьютеризация традиционных лабораторных приборов является одним из перспективных направлений развития технологий приборостроения.

На сегодняшний день рефрактометры Пульфриха и Аббе, основанные на явлении полного внутреннего отражения на границе эталонной призмы и рабочей среды, позволяют благодаря определению угла выхода лучей из этого сочетания оптических материалов определить показатель преломления с необходимой для практических целей точностью. При этом рефрактометр Пульфриха обладает более высокой точностью ( $10^{-5}$ ), а у рефрактометра Аббе точность меньше. Рефрактометр Аббе является прибором для массового контроля оптических материалов, скорее с целью исключения грубых ошибок при их подборе.

Рефрактометры различных конструкций используются в таких отраслях промышленности, как Бумажная, питьевая, пищевая, сахарная, текстильная, фармацевтическая, химическая, нефтеперерабатывающая, металлообрабатывающая.

Цифровые рефрактометры, представленные на рынке, производятся в основном на зарубежных предприятиях, что может затруднить их использование в ряде отраслей, где необходимо использование отечественных аналогов.

В данной статье рассматривается принцип модернизации рефрактометра Аббе, а также методика проведения измерений на нем. В статье показана возможность увеличения точности производимых на рефрактометре Аббе измерений за счет компьютерной обработки окулярного изображения с целью выделения четкой границы темной и светлой частей поля, которая служит для определения показателя преломления образца.

Передача изображения, получаемого в окуляре рефрактометра, на компьютер осуществляется при помощи цифровой фотокамеры, позволяющей представить его в цифровом виде. Для выполнения данной задачи необходимо создать конструкцию, которая позволила бы закрепить объектив камеры на окуляре рефрактометра. Эта



конструкция должна быть рассчитана исходя из диаметра оправы окуляра и диаметра оправы объектива.

За основу возьмем рефрактометр ИРФ-22 и фотоаппарат Nikon, которые имеют следующие конструктивные характеристики:

Диаметр окуляра:	$d_{ок} = 26$ мм
Диаметр объектива:	$D_{об} = 32$ мм
Длина объектива:	$L_{об} = 22$ мм
Диаметр резьбы объектива:	$D_{резьбы} = 44$ мм
Длина резьбы окуляра:	$h_{ок} = 4$ мм
Длина резьбы объектива:	$H_{об} = 4$ мм
Шаг резьбы окуляра:	0,5 мм
Шаг резьбы объектива:	1 мм

На основе этих данных выполним эскиз насадки окуляра для крепления фотоаппарата, представленный на рис. 1. Насадка окуляра фиксирует фотоаппарат посредством имеющейся у нее резьбы, что позволяет исключить вибрации при съемке и, тем самым, улучшить качество снимка.

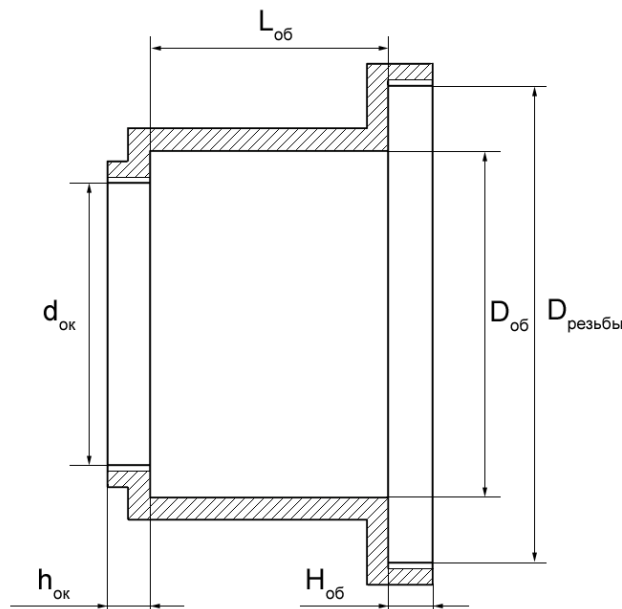


Рис. 1. Конструкция насадки

После установки фотоаппарата можно приступить к съемке изображения окуляра рефрактометра. Съемку можно проводить как в ручном, так и в автоматическом режиме.

На полученных снимках, как и в визуально наблюдаемом окулярном изображении, граница между темной и светлой частями поля размыта, что затрудняет измерение реального угла выхода лучей и, как следствие, определение показателя преломления исследуемого образца, внося дополнительную погрешность. Для устранения данной погрешности после проведения съемки фотоаппаратом полученные снимки необходимо подвергнуть компьютерной обработке, выделив четкую границу темной и светлой частей поля. Для этой цели применим метод выделения контура, используемый для обработки интерферограмм.

На рис. 2 изображены графики распределения освещенности участка поля, содержащего границу. До выделения контура (рис. 2, а) график представляет собой градиент, после (рис. 2, б) – импульс. Метод позволяет определить более точно угол

выхода лучей за счет уменьшения ширины границы темной и светлой частей поля, что видно при сравнении снимка до и после обработки на рис. 3.

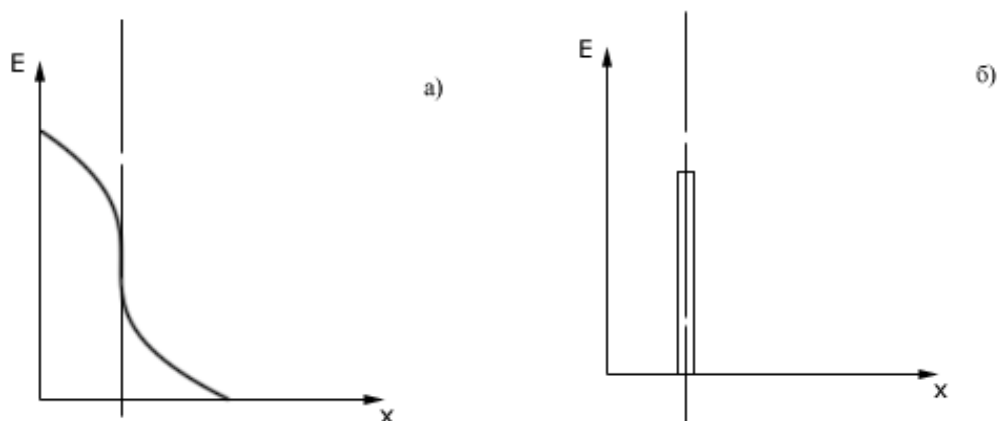


Рис. 2. График распределения освещенности

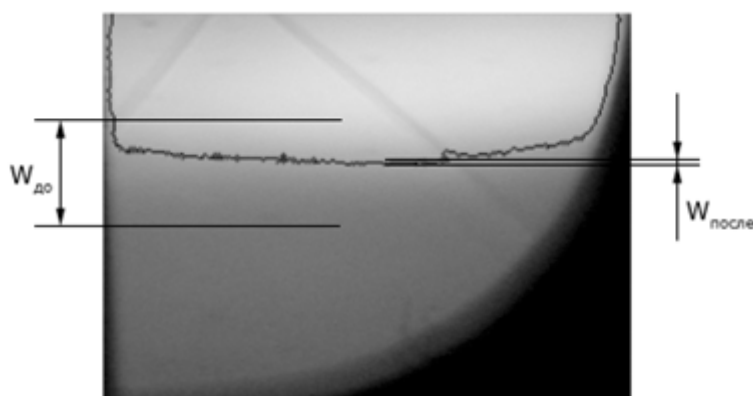


Рис. 3. Сравнение ширины границы

Из рис. 3 видно, что ширина границы до выделения контура больше примерно в 10 раз:  $W_{до} \approx 10 \times W_{после}$ . Таким образом, применение метода оконтуривания позволяет увеличить точность проводимых на рефрактометре измерений на один порядок, что и было изначальной целью.

В заключении можно добавить, что в качестве регистратора изображения окуляра рефрактометра может использоваться любая фотокамера, имеющая указанные выше параметры. Использование других средств для получения цифрового изображения предполагает изменение параметров насадки окуляра.

Плюсы данного метода и конструкции очевидны: более высокая точность измерений; простота ремонта путем замены составляющих компонентов; возможность применения в отраслях, где необходимо применение отечественных аналогов высокотехнологичного оборудования; повышенная производительность за счет оптимизации процесса измерения.

Увеличение точности измерений проводимых на рефрактометре Аббе за счет его компьютеризации повысит эффективность его использования на производстве.

### Литература

1. Кирилловский В.К. Оптические измерения. Часть 5. Аберрации и качество изображения. – СПбГУ ИТМО, 2006. – 107 с.

2. Кирилловский В.К., Ле Зуй Туан. Оптические измерения. Часть 6. Инновационные направления в оптических измерениях исследованиях оптических систем. – СПбГУ ИТМО, 2008. – 131 с.
3. Зверев В.А., Кривоустова Е.В., Точилина Т.В. Оптические материалы. Часть 1. Учебное пособие для конструкторов оптических систем и приборов. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 244 с.
4. Иванова Т.А., Кирилловский В.К. Исследование и контроль объективов микроскопов. Учебное пособие. – ЛИТМО, 1983.
5. Лившиц Э.М. Оптические измерения. Учебное пособие по лабораторному практикуму. – Л.: ЛИТМО, 1987. – С. 114.

## УДК 336.7

## ВЛИЯНИЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В ОБЛАСТИ ДЕРИВАТИВОВ НА РАЗВИТИЕ РОССИЙСКОГО РЫНКА ПРОИЗВОДНЫХ ФИНАНСОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Т.Н. Горбунова, В.В. Юсова

В 2008 г. была принята «Стратегия развития финансового рынка Российской Федерации», которая предполагает также и изменение законодательства в области рынка производных финансовых инструментов. Насколько выполняется Стратегия, а также какие изменения произошли за период 2007-2011 г. в области законодательства и на реальном срочном рынке, будет рассмотрено в статье.

**Ключевые слова:** дериватив, производные финансовые инструменты, законодательство, фьючерс, опцион.

Некоторые аналитики и исследователи, занимающиеся вопросами рынка производных ценных бумаг, говорят о крайне бедной законодательной базе в этой области финансовых отношений (например, Иванова Е., Кузнецова Л.Г., Маслов О.Ю.). Однако в последние годы в российском законодательстве о фондовых рынках происходят изменения (например, внесены поправки в Федеральный закон «О рынке ценных бумаг» [1], в которых конкретизируются производные финансовые инструменты, утверждено важнейшее Положение ФСФР «О видах производных финансовых инструментов» [2], принята «Стратегия развития финансового рынка Российской Федерации» [3] – далее «Стратегия»). Кроме того, в настоящее время (январь 2012 г.) существует ряд законопроектов, принятие которых должно позитивно сказаться на объемах торгов и количестве заключаемых сделок. Конечно, в рамках периода 2–3 года сложно объективно оценить эффективность нововведений. Однако можно изучить показатели торгов за 2007–2011 гг. (табл. 1) и сделать соответствующие выводы. В табл. 1 применены сокращения: ПФИ – производный финансовый инструмент, уд. вес – доля оборотов по сделкам с ПФИ в общем числе оборотов на срочном рынке за определенный период, Тпр. – темп прироста абсолютного показателя к значению предыдущего года.

Вид ПФИ	2007 г.		2008 г.		2009 г.		2010 г.		2011 г.	
	Уд. вес, %	Уд. вес, %	Изм., % (+/-)	Уд. вес, %	Изм., % (+/-)	Уд. вес, %	Изм., % (+/-)	Уд. вес, %	Изм., % (+/-)	
Фьючерсы	78,30	84,69	+6,39	89,37	+4,68	84,23	-5,14	87,42	+3,19	
Опционы	15,13	11,11	- 4,02	3,81	-7,30	4,27	+0,46	6,53	+2,26	

Таблица 1. Динамика долей объемов торгов фьючерсами и опционами на РТС за 2007–11 гг.

Анализируя данные, представленные в табл. 1, можно сделать вывод о том, что доля опционов на срочном рынке за 2007–2009 гг. снижается, а доля фьючерсов, напротив, увеличивается. Следовательно, в кризис 2007–2008 гг. инвесторы оценивали фьючерсы как более надежные активы. Этот вывод кажется удивительным, поскольку фьючерсы, с одной стороны (так как сделка должна состояться обязательно при любых условиях) – высоко рискованный актив, а с другой, для контрагентов (не спекулянтов) фьючерс – гарантия совершения сделки, в то время как опционы (доля которых снижалась за анализируемый период) позволяют участникам сделки отказаться от ее совершения. Однако за 2010–2011 гг. доля опционов растет, причем более высокими темпами, чем доля фьючерсов за период 2007–2009 гг. (увеличение доли опционов в обороте составило 2,26 % в 2011 г., что стало максимальным показателем за исследуемый период). Стоит отметить, что максимальное изменение доли фьючерсов составило 6,39 % в 2008 г.

Помимо опционов и фьючерсов, в соответствии с «Положением о видах производных финансовых инструментов» существуют и другие производные финансовые инструменты, доля которых не превышает 10% в объеме российских торгов на срочном рынке (форвардные контракты, своп договоры). Именно для развития этих инструментов разрабатываются новые законопроекты. Однако существует и комплексная проблема – слабое развитие рынка производных ценных бумаг в РФ (согласно международной статистике, на долю российских производных финансовых инструментов в объеме торгов и открытых позиций по биржевым финансовым деривативам в 2006 г. приходилось менее 1% [4]).

Несомненно, что существует взаимосвязь между уровнем разработанности законодательства о деривативах и реальным рынком. Российское законодательство о производных ценных бумагах, по мнению многих авторов, является несовершенным. Например, в сводном анализе законопроектов по рынку производных финансовых инструментов Е. Иванова говорит о необходимости комплексного закона о деривативах [5]. В работе Л.Г. Кузнецовой проведен анализ терминов, которые употребляет законодатель, сформулирован следующий вывод: «Наведение порядка в терминологии является условием расширения круга потенциальных участников срочных сделок и, как следствие, необходимым условием развития рынка производных инструментов» [6]. Кроме того, на законодательном уровне также определены следующие проблемы [3]:

- 1) пробелы в налоговом законодательстве, регулирующем рынок производных финансовых инструментов;
- 2) проблема процедуры классификации деривативов в связи с динамичностью развития их рынка;
- 3) необходимость установления требования обязательного мониторинга биржами нестандартных срочных сделок.

Для того чтобы проследить развитие законодательной базы в области регулирования рынка производных финансовых инструментов, рассмотрим законодательные нормы по периодам. Например, выделим проблемы, существовавшие до 2007 г., затем проанализируем реализованные законопроекты за 2007–2011 гг., выявим тенденции развития рынка производных финансовых инструментов и законодательства о нем (табл. 2). Таким образом, можно будет проследить, насколько выполняется Стратегия и возможно ли будет достичь к 2020 г. указанные в ней параметры развития рынка.

Далее рассмотрим официальные данные торгов фондовой биржи РТС за период 2007–2011 гг. [9], которые описывают сложившуюся за анализируемый период ситуацию гораздо нагляднее, чем перечень проведенных мероприятий. В табл. 3

представлены наиболее показательные параметры (количество сделок и объем торгов за исследуемый период). Следует отметить, что приведенный ниже анализ показателей для целей данной статьи является достаточным, однако для детального анализа кроме абсолютных показателей необходимо рассмотреть относительные величины, такие как темпы роста, темпы прироста за исследуемый период.

Период	Проблемы	Изменения в законодательстве	Наиболее важные достигнутые результаты
До 2007 г.	Крайне слабое развитие рынка деривативов в РФ (менее 1% объемов мировых оборотов срочного рынка);	1. Проект № 340630-3 «О производных финансовых инструментах»; 2. Законопроект № 147313-3 «О срочном рынке»;	Сформулированы проблемы в области рынка производных ценных бумаг, результат – создание в 2008 г. «Стратегии развития финансового рынка Российской Федерации»;
2007-11 г.	1. Узкий спектр производных финансовых инструментов (85% торгов – фьючерсы, 10%-опционы); 2. Необходимость укрепления нормативной правовой базы срочного рынка.	1. Принята «Стратегия развития финансового рынка Российской Федерации» (29.12.2008 г.); 2. ФСФР – «Положение о видах производных финансовых инструментов» (04.03.2010 г.); 3. Утверждено «Положение о лицензировании деятельности биржевых посредников и биржевых брокеров, заключающих в биржевой торговле договоры, являющиеся производными финансовыми инструментами, базисным активом которых является биржевой товар» (02.03.2010 г.) 4. Внесены поправки в НК РФ.	1. В Стратегии законодатель уделяет значительное внимание «развитию производных финансовых инструментов», рассчитаны показатели- ориентиры до 2020 г.; 2. В Положении ФСФР дается подробная характеристика деривативам. Кроме того, появилась возможность самостоятельного определения на основе указанных требований определять, является ли тот или иной инструмент деривативом; 3. Подробно описана процедура лицензирования, определены перечни необходимых документов для лицензирования и дальнейшей деятельности; 4. Изменения в налоговом законодательстве: - Появилась возможность совершения операции с ПФИ без взимания налога на добавленную стоимость до момента поставки; - Исключены из налоговой базы по налогу на прибыль организаций операции с финансовыми инструментами, совершаемые клиринговыми организациями, обеспечивающими клиринг и расчеты по таким операциям; - Закреплен один режим налогообложения для биржевых и внебиржевых финансовых инструментов и появилась возможности отнесения на финансовый результат убытков от таких сделок вне зависимости от того, совершены операции в целях хеджирования или нет.

Таблица 2. Изменение законодательства о деривативах и результаты за 2007-11 гг.

Год	День, месяц	Показатели			
		Фьючерсы		Опционы	
		Количество сделок, ед.	Объем торгов, млн. руб.	Количество сделок, ед.	Объем торгов, млн. руб.
2007 г.	1 февр.	34057	15042,84	742	890,03
	1 апр.	32146	17074,71	600	1535,28
	1 июня	51344	22947,27	1889	4175,61
	1 авг.	49133	29949,82	1667	9049,81
	1 окт.	48634	23462,19	1465	3453,21
	1 дек.	75497	42876,09	1896	5461,58
2008 г.	1 февр.	103671	51665,35	2464	6276,92
	1 апр.	91877	35241,61	2710	10786,35
	1 июня	86284	44711,72	2650	6019,21
	1 авг.	104658	48088,31	2699	19401,93
	1 окт.	138369	22630,69	1293	1213,98
	1 дек.	158941	16195,94	1767	1590,26
2009 г.	1 февр.	181075	20489,78	2191	576,52
	1 апр.	245963	39895,14	2268	697,61
	1 июня	368419	83749,69	5076	2314,75
	1 авг.	287446	55241,11	4852	2303,22
	1 окт.	303304	60193,45	2766	1287,69
	1 дек.	398904	85560,57	5730	3131,58
2010 г.	1 февр.	416196	84872,08	3812	1818,03
	1 апр.	340261	82617,14	5661	3305,58
	1 июня	540413	118781,0	7773	4245,59
	1 авг.	407487	107327,2	8656	8968,15
	1 окт.	499153	132586,5	15617	9757,82
	1 дек.	654089	187248,8	12962	9102,74
2011 г.	1 февр.	530513	158349,3	11114	8801,36
	1 апр.	541572	159988,3	18835	18773,00
	1 июня	783907	227553,8	18264	20087,86
	1 авг.	619556	190790,0	20676	28112,51
	1 окт.	1135507	221005,6	14761	5802,20
	1 дек.	1044601	223313,6	19168	12371,22

Таблица 3. Показатели торгов за 2007–11 гг. (фьючерсы, опционы) на РТС

В табл. 3 продемонстрировано, что в 2011 г. количество сделок с опционами в среднем в 2-3 раза превышает аналогичный показатель в 2007–2009 гг. Что касается объемов торгов этих же инструментов, то наблюдается интересная тенденция – в 2007–2008 значение этого показателя не было минимальным (несмотря на кризисный период), что можно объяснить одной из функций производных финансовых инструментов – хеджированием рисков. В 2009 г. объемы и количество сделок с деривативами продолжили тенденцию роста, но незначительно, что можно объяснить последствиями мирового финансового кризиса.

Число сделок с фьючерсами значительно выше, чем с опционами (максимальное значение – 1100000 в октябре 2011 г.). На опционы в октябре 2011 г. (приходится 15000 сделок – минимальное значение за апрель–май 2011 г.). За период 2007–2011 г.

наблюдается тенденция к росту (что касается не только числа сделок, а также объемов торгов) и в части фьючерсов, и опционов. Следовательно, российским инвесторам рынок производных финансовых инструментов становится все более интересен. Тем не менее, доля фьючерсов растет в противовес доле опционов, а доля прочих производных финансовых инструментов остается крайне мала.

Представляется возможным определить плановые показатели при сохранении существующих тенденций. За основу для модели возьмем динамику объемов торгов и количество сделок с фьючерсами (за период 2010–2011 гг. по месяцам). В результате регрессионного анализа с вероятностью 87,6% ( $R^2$ ) получим следующую формулу:

$$y = 13730262118 * x + 13730262118,$$

где  $y$  – объем торгов, руб.,  $x$  – месяц. Рассчитаем плановое значение объема торгов фьючерсами на декабрь 2012 г. и декабрь 2013 г. В результате получается, что при восходящем тренде объем торгов фьючерсами составит в декабре 2012 г. и декабре 2013 г. 400 млн. руб. и 562 млн. руб. соответственно (в декабре 2011 г. этот показатель составил 223 млн. руб.).

Таким образом, при сохранении тенденций 2007–2011 гг. объем оборотов срочного рынка будет увеличиваться (расчет сделан для фьючерсов, однако, поскольку их доля более 85% на срочном рынке в России, можно распространить этот вывод на весь рынок производных финансовых инструментов). Вероятно, одним из факторов такого роста является усовершенствование законодательной базы в этой области, что было рассмотрено выше. Можно выразить надежду, что инициативы законодателей будут и дальше способствовать развитию рынка производных финансовых инструментов.

### Литература

1. О рынке ценных бумаг: Федеральный закон от 22 апреля 1996 г. № 39-ФЗ.
1. Положение о видах производных финансовых инструментов: Приказ ФСФР России от 4 марта 2010 г. № 10-13/пз-н.
2. Стратегия развития финансового рынка Российской Федерации на период до 2020 г.: Распоряжение Правительства РФ от 29 декабря 2008 г. № 2043-р.
3. Futures 101 [Электронный ресурс] / Блог о фьючерсах и срочном рынке; Биржи отчитались за октябрь 2011 г. – Электрон, дан. – 2011. – Режим доступа: <http://www.futures101.ru/page/2/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
4. Биржевое право [Электронный ресурс] / Иванова Е. Законопроектная деятельность в области деривативов. – Электрон, дан. – 2011. – Режим доступа: <http://iev.by.ru/projekt.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
5. ААСП. Юридические услуги [Электронный ресурс] / Кузнецова Л.Г. Российский рынок производных инструментов: вопросы правового регулирования. – Электрон, дан. – 2011. – Режим доступа: <http://www.aasp.ru/info/articles/5/131.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
6. Положение о лицензировании деятельности биржевых посредников и биржевых брокеров, заключающих в биржевой торговле договоры, являющиеся производными финансовыми инструментами, базисным активом которых является биржевой товар: Постановление Правительства РФ от 2 марта 2010 г. № 111;
7. Основные направления налоговой политики Российской Федерации на 2010 год и на плановый период 2011 и 2012 годов (от 25 мая 2009 г.);
8. Биржа ММВБ – РТС [Электронный ресурс] – Электрон, дан. – 2011. – Режим доступа: <http://rts.micex.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

УДК 681.78

## **МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ ВЛИЯНИЯ РЕФРАКЦИИ АТМОСФЕРЫ НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ. ПРЕИМУЩЕСТВА МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ**

**В.Ф. Гусаров, А.Н. Тимофеев**

Развитие технологий приборостроения привело к повышению уровня точности и к автоматизации проводимых операций, но точность и достоверность инженерно-геодезических измерений по-прежнему ограничена вследствие влияния окружающей среды, в частности атмосферной рефракции.

В статье проанализированы известные методы коррекции и компенсации влияния рефракции, их преимущества и недостатки, определен оптимальный метод для решения поставленной задачи.

**Ключевые слова:** рефракция, коррекция, температура, градиент.

### **Введение**

В настоящее время существует тенденция ужесточения требований к точности инженерно-геодезических измерений, связанная с повышением качества изготовления строительных и промышленных конструкций, а также правильности их монтажа и последующего контроля их состояния. Анализ показал, что среди источников погрешностей в оптико-электронных системах для инженерных геодезических измерений главную роль играет влияние воздушного тракта, особенно при значительных дистанциях.

В качестве основного источника систематических ошибок при точном оптическом определении углов и расстояний признано явление рефракции, которое обычно вызвано неоднородной средой распространения оптического луча [1].

### **Методы коррекции влияния рефракции атмосферы на геодезические измерения**

Известно несколько методов коррекции влияния рефракции.

Первый метод основан на измерении температурного градиента, который является основным фактором, влияющим на угол рефракции, с использованием высокоточных температурных датчиков.

Вторая методика заключается в специфике измерений. Применяются взаимно параллельные наблюдения или симметричная компоновка области наблюдения с целью уменьшения эффекта рефракции.

Третий метод – учет атмосферных эффектов в процессе корректировки геодезических схем. Этот метод обоснован, если количество измерений достаточно велико и учитывает доверительную оценку дополнительных параметров.

Четвертая методика – моделирование турбулентного перемещения с использованием восходящих тепловых потоков для вычисления температурного градиента. Требуемые параметры получают из измерения эффектов сцинтилляции, таких как флуктуации амплитуды или фазы поступающей волны.

Наконец, пятый метод – двухволновой, использующий атмосферную дисперсию для получения угла рефракции через угол дисперсии. Возможность применения эффекта дисперсии в геодезии в 1912 г. представил Э. Герцшпрунг [2].

### **Преимущества многоспектральных методов коррекции**

Как было сказано выше, известны четыре достаточно эффективных метода компенсации влияния рефракции воздушного тракта на геодезические измерения. Однако проводимые анализы показывают, что каждая из методик имеет порой трудно



устранимые недостатки. Например, метод, основанный на измерении температурного градиента с использованием температурных датчиков, давая возможность получать достаточно точные результаты, предъявляет иногда неоправданно высокие требования к самому оборудованию, его установке и настройке.

Для второй и третьей из перечисленных выше методик недостатком является то, что реальные условия наблюдений не всегда согласованы с теоретическими предположениями (например, неравномерное распределение воздушных слоев в поле измерений).

Касательно пятого, дисперсионного, метода отметим, что проведенные эксперименты выявили некоторые трудности в отношении измерения угла дисперсии, но в то же время они стали отправной точкой для дальнейшей разработки дисперсометра. М.Т. Прилепиным был предложен двухволновой дисперсионный метод для применения в оптико-электронных дальномерах. В основу положена зависимость показателя преломления воздуха от длины волны зондирующего сигнала, а его техническая реализация сводится к измерению разности оптических путей зондирующих сигналов с различными длинами волн [3]. Метод с использованием явления дисперсии наиболее точен, хотя и нуждается в некоторой инструментальной доработке. Для двухволновых измерений расстояния с относительной погрешностью одна десятимиллионная давление должно быть известно с погрешностью 50 мб, и нет необходимости знать температуру.

Для дальнейшего исследования и разработки оптико-электронной системы измерения вертикального градиента температур воздушного тракта выбран полихроматический метод с оптической равносигнальной зоной (ОРСЗ), поскольку предполагается, что он позволит получить высокую точность измерений и окажется достаточно простым в технической реализации. Стоит отметить, что метод ОРСЗ для измерения температурного градиента воздушного тракта пока не применялся. Из литературных источников известны реализации лишь двухспектральных устройств, как дальнометров и геодезических угломерных приборов. В свою очередь, применяемые в угломерных приборах методы для достаточной степени компенсации сложны и требуют исключительно высокой точности измерений информативных параметров атмосферы.

### Заключение

С высокими требованиями к точности и проблемой создания полихроматических источников были связаны трудности в практической реализации полихроматических приборов. Постепенно, с развитием технологических возможностей, стали появляться такие устройства. Многоспектральные методы компенсации влияния воздушного тракта находят все большее применение и развитие с целью повышения точности геодезических измерений.

### Литература

1. Джабиев А.Н., Мусяков В.Л., Панков Э.Д., Тимофеев А.Н. Оптико-электронные приборы и системы с оптической равносигнальной зоной. – СПб: ИТМО, 1998. – 238с.
2. Bockem B. Development of a dispersometer for the implementation into geodetic high-accuracy direction measurement system. – Zurich: Diss. ETH №14252, 2001. – 140с.
3. Карасев В.Б., Панков Э.Д. Теоретическая оценка воздействия воздушного тракта на измерительную базу в виде полихроматической оптической равносигнальной зоны при геодезических измерениях. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. – 50с.

УДК 004.056.53

## **ДИНАМИЧЕСКИЕ БАЙЕСОВСКОЙ СЕТИ В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ**

**В.Ю. Дайнеко**

В работе дается описание и пример динамической байесовской сети и приводится пример обученной сети. Приводятся задачи, которые могут быть решены с помощью байесовского вывода. Описывается работа предложенной системы обнаружения вторжений. Рассматривается проблема задания априорных вероятностей, и приводятся известные подходы к байесовскому выводу.

**Ключевые слова:** система обнаружения вторжений, динамическая байесовская сеть, байесовский вывод.

### **Введение**

Существует два распространенных метода обнаружения вторжений, основанные на сигнатурах и аномалиях. Сигнатурный метод позволяет точно обнаруживать вторжения, но не способен выявлять новые типы вторжений. Метод, основанный на аномалиях, позволяет выявить новые вторжения, но имеет высокую вероятность ложных срабатываний. Рядом авторов предпринимались попытки решения проблемы ложных срабатываний с помощью статических байесовских сетей [1] и скрытых марковских моделей [2]. Однако данные подходы не позволяют включать дополнительную информацию в модели, не используют временной аспект в последовательностях и не способны описать цикличность процесса. Для решения этой проблемы авторами предлагается использовать байесовский вывод (БВ). БВ является статистически корректным инструментом для прогнозирования, фильтрации и оценивания текущей модели, которая описывает наблюдаемые данные. При реализации предложенной архитектуры системы обнаружения вторжений (СОВ) должна учитываться возможность давать оценку корректности описания наблюдаемых событий в прошлом и настоящем. При этом для БВ применяется в модели динамической байесовской сети (ДБС) для описания последовательности сетевых сеансов. Под сеансом понимаем промежуток времени между запросом на соединение и запросом на разрыв соединения, в течение которого между двумя IP адресатами посылаются потоки данных по определенному протоколу.

Цель данной работы заключается в представлении предложенной архитектуры СОВ, в которой используются ДБС для повышения надежности работы СОВ. Кроме того в рамках статьи ставится задача анализа способов определения априорной вероятности для эффективного БВ с целью увеличения времени автономной работы.

### **Динамическая байесовская сеть**

Динамическая байесовская сети (ДБС) является обобщенной моделью в модели пространства состояний [3] для описания последовательностей, порожденных моделируемой динамической системой. ДБС состоит из двух байесовских сетей (БС): исходная БС, определяющая структуру сети в каждом временном срезе, и транзитная БС, определяющая переходы между двумя ближайшими временными срезами. Структура БС остается неизменной во всех временных срезах. Срез называют текущее состояние ДБС в дискретный момент времени выраженное БС. ДБС может быть представлена в виде графической модели, направленного ациклического графа, каждой из вершин которого соответствует случайная наблюдаемая или скрытая переменная, а дуги задают условную вероятность переходов между вершинами. Вершина в сети может иметь родителя только в своем временном срезе или в непосредственно

предшествовавшем временном срезе, другими словами, ДБС определяется как марковский процесс первого порядка.

Уравнение, описывающее переходы между срезами [3], имеет вид

$$p(Z_t | Z_{t-1}) = \prod_{i=1}^N p(Z_t^i | \text{parents}(Z_t^i)), \quad (1)$$

где  $Z_t$  – срез байесовской сети в момент времени  $t$ ;  $Z_t^i$  – узел сети;  $N$  – число узлов сети в срезе. Уравнение (1) задает вероятности переходов между узлами байесовских сетей из предыдущего среза  $Z_{t-1}$  в текущий срез  $Z_t$ .

ДБС в виде графической модели приведена на рис. 1, где показана транзитная байесовская сеть между двумя срезами.

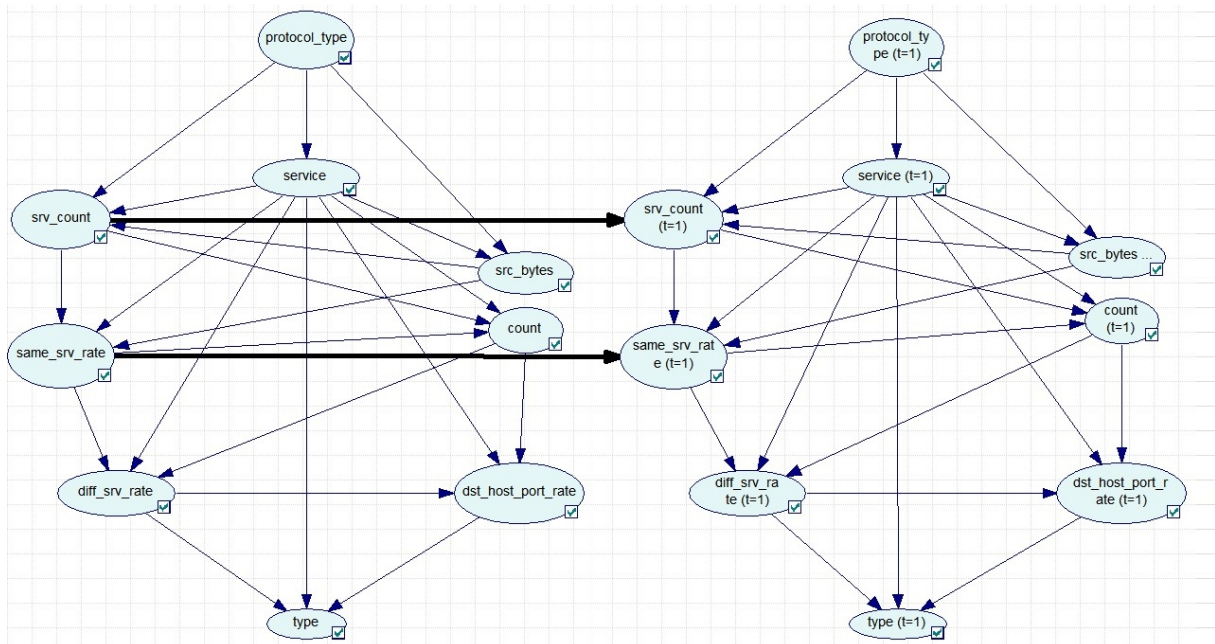


Рис. 1. Графическая модель транзитной ДБС

Лаборатория Lincoln и DARPA разработали набор данных KDDCUP'99, который был создан для оценивания систем обнаружения вторжений [4]. Всего набор данных KDDCUP'99 содержит 24 типа атак, которые подразделяются на 4 группы, и каждый сетевой сеанс имеет описание из 41 свойства сеансов. Каждая запись о сеансе в наборе данных помечается как нормальная или как вторжение, имеющее единственный тип атаки. Авторами показана одна из обученных ДБС (см. рис. 1), состоящей из 9 вершин, которые, в свою очередь, представлены восьмью свойствами сеансов из набора данных KDDCUP'99 [4] и одной переменной типа вторжений: protocol\_type, service, src\_bytes, count, srv\_count, same\_srv\_rate, diff\_srv\_rate, dst\_host\_same\_src\_port\_rate и type.

Перейдем к тем задачам, которые применяются для реализуемой СОВ. Уравнение БВ для дискретного случая описывается уравнением

$$P(x_i | Y) = \frac{P(x_i) \cdot P(Y | x_i)}{P(Y)}, \quad x_i \in X,$$

где  $x_i$  –  $i$ -е скрытое состояние из всех возможных;  $X$  – пространство скрытых состояний;  $Y$  – данные наблюдений;  $P(x_i | Y)$  – апостериорная вероятность скрытого состояния;  $P(Y | x_i)$  – правдоподобие данных наблюдения;  $P(x_i)$  – априорная вероятность скрытого состояния;  $P(Y)$  – априорная вероятность наблюдаемых данных.

БВ позволяет решать задачи [5], приведенные в табл.1. Данные процедуры, кроме сглаживания и сглаживания на шаг, используются в модуле байесовского вывода СОВ, а выбор используемой процедуры, зависит от модуля конфигурации СОВ.

Решаемая задача	Используемая процедура
Предсказания	$P(x(t+dt)   y(1:t))$ Процедура экстраполяции распределения вероятностей для будущих состояний ДБС.
Фильтрации	$P(x(t)   y(1:t))$ Процедура оценки текущего состояния модели.
Сглаживания	$P(x(1:t)   y(1:t))$ Процедура оценки всех наблюдаемых состояний в прошлом, с учетом всех доказательств до текущего времени.
Сглаживание на шаг	$P(x(t-dt)   y(1:t))$ Процедура оценки состояния для некоторого прошлого момента, с учетом всех доказательств до текущего времени.
Витерби	$\max_x P(x(1:t)   y(1:t))$ Процедура для вычисления наиболее возможных последовательностей скрытых состояний, учитывая полученные данные.

Таблица 1. Процедуры вывода ( $t$  – время)

### Система обнаружения вторжений

Предлагаемая авторами архитектура системы обнаружения вторжений представлена на рис. 2 и состоит из следующих пяти модулей:

- (а) модуль байесовского вывода;
- (б) модуль обучения;
- (в) модуль конфигурации СОВ;
- (г) модуль базы моделей ДБС;
- (д) модуль сбора и обработки информации (сенсоры).

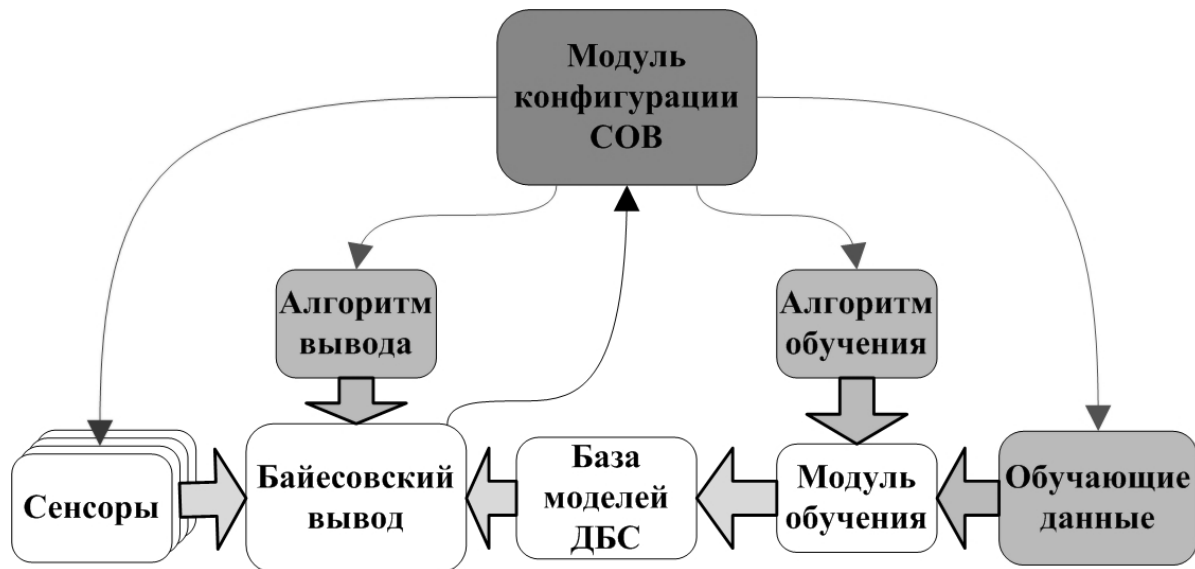


Рис. 2. Архитектура СОВ

С обучения ДБС, используя один из алгоритмов обучения и обучающих данных, начинается период инициализация работы СОВ. Модуль, реализующий алгоритм обучения, и обучающие данные задают вероятности условных переходов для модели ДБС. Для обучения используется один из критерия выбора лучшей модели,

описывающий данные обучения: критерий минимальной длины описания (МДО) и критерий взаимной информации (ВИ). После обучения СОВ переходит в режим тестовой эксплуатации. Выбирается лучшая модель ДБС, которая по наблюдаемым свойствам сетевых сеансов и на основании процедуры предсказания делает вывод о наличии аномальности в свойствах сетевых сеансов. На этапе вывода может происходить оценка корректности описания наблюдаемых свойств сеансов текущей моделью ДБС, и в случае расхождения предсказания и наблюдения, производится перестройка модели ДБС путем построения новой модели ДБС модулем конфигурации СОВ. В случае обнаружения вторжений задача модуля конфигурации СОВ заключается в добавления новых данных в обучающие данные, а также блокирование злоумышленника, например, путем добавления его в черный список или выработки дополнительных правил для межсетевого экрана. Данная архитектура СОВ позволяет защищать компьютерные сети благодаря размещению сенсоров в контролируемые узлы сети.

### Проблема априорных вероятностей

В [6] рассматривается методология систем обнаружения вторжений, состоящая из трех классов, которые включают различные методы (всего 11 методов). БВ находится на стыке между вычислительными методами и искусственным интеллектом. Но БВ не может рассматриваться в качестве самостоятельного метода в искусственном интеллекте из-за необходимости задания априорных вероятностей извне (привлечение человека) и, в случае решения практических задачах, сильно сужает пространство гипотез [7]. Способ задания априорных вероятностей в байесовском выводе играет важную роль. Сравним некоторые известные подходы к БВ.

*Метод максимального правдоподобия*, основанный на вероятностном подходе, предполагает, что все гипотезы равновероятны и выбирается та гипотеза, которая обладает максимальным значением правдоподобия

$$h_{ML} = \arg \max_{h \in H} P(D | h),$$

где  $h$  – гипотеза, задающая одинаковую вероятность для всех конкурирующих гипотез  $H$ ;  $D$  – данные наблюдений;  $P(D | h)$  – правдоподобие данных наблюдения для равновероятных гипотез  $h$ . Данный метод находит широкое применение, как и метод нахождения максимума апостериорной вероятности. Недостатки вероятностного подхода [7]:

- проявляется эффект переобучения с чрезмерным усложнением байесовской сети, что приводит к невозможности сделать выбор между одинаково хорошо описывающими данные байесовскими сетями;
- если априорные вероятности заданы неадекватно, то необходимо увеличить число слоев ДБС для уменьшения влияния ошибки, что приводит к возрастанию вычислительной сложности и неоптимальности данного метода;
- необходима формализация понятия сложности.

*В информационном подходе* выбор гипотезы определяется двумя слагаемыми: сложность гипотезы и как хорошо с помощью гипотезы описываются данные

$$h = \arg \min_{h \in H} [I(h) + I(D | h)],$$

где  $I(h)$  – сложность гипотезы;  $I(D | h)$  – длина описания данных  $D$  с помощью гипотезы  $h$ . Недостатки данного подхода [7]:

- сложность трактуется через количество информации, а для подсчета количества информации необходимо знать модель источника информации, т.е. априорную

вероятность источника. Количество информации снова является вероятной величиной;

- если рассматривать последовательности как цепочки символов, то количество информации можно оценить через длину цепочки. Происходит переход от задания гипотез к заданию языка представления, что удобнее для практического применения. Но тогда необходимо решить проблему определения языка представления.

*Алгоритмическая сложность Колмогорова.* Понятие сложности находит адекватную формализацию в алгоритмической сложности Колмогорова. Выбор лучшей модели производится на основании того, что если есть несколько программ, которые, по строке  $\alpha$  воспроизводят строку  $\beta$ , то  $\mu$  – наикратчайшая из них

$$\mu_{MDL} = \arg_{\mu} \min [l(\mu) + K(\beta | \mu)],$$

где  $\mu$  – бинарная строка, соответствующая модели данных;  $\beta$  – бинарная строка, соответствующая данным наблюдений;  $l(\mu)$  – длина модели данных;  $K(\beta | \mu)$  соответствует длине наиболее короткой строки  $\alpha$ , такой, что если она дана на вход программе  $\mu$ , то программа напечатает на выходе строку  $\beta$ . Сумма  $l(\mu) + K(\beta | \mu)$  – описание строки  $\beta$ , обладающей минимальной длиной. Недостатком можно считать то, что алгоритмическая сложность является невычислимой. Поэтому в решении практических задач используют *практическую* алгоритмическую сложность, вводят эвристические приемы для сокращения пространства гипотез благодаря знаниям о предметной области. Положительными свойствами данного подхода является [7]:

- алгоритмическая полнота не накладывает никаких принципиальных ограничений на пространство гипотез;
- статистическая согласованность с теорией Байеса;
- возможность инкрементального обучения без ограничения на новые понятия, которые система может выучить. Это позволяет использовать полученный опыт для решения задач отражения атак в будущем.

### Выводы

Предложенная архитектура системы обнаружения вторжений способна повысить надежность обнаружения новых типов вторжений благодаря способности оценивания корректности используемой модели динамической байесовской сети. В случае ошибки или невозможности делать вывод модуль конфигурации системы производит обучение новых моделей и выбор лучшей. В результате анализа способов определения априорной вероятности наиболее перспективным признан способ, основанный на алгоритмической сложности. Но из-за рассмотренных сложностей данный способ неприменим на практике, поэтому в последующей работе по обучению моделей и принятию решений будет применяться информационный подход.

### Литература

1. Alma Cemerlic, Li Yang, Joseph M. Kizza. Network Intrusion Detection Based on Bayesian Networks // In Proceedings of SEKE. – 2008. – pp. 791–794.
2. Аникеев М.В. Метод обнаружения аномалий на основе скрытых марковских моделей с поиском оптимального числа состояний // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Информационная безопасность». – Таганрог, ТРТУ, 2005. – С. 58–60.

3. K.P. Murphy. Dynamic bayesian networks: representation, inference and learning // Thesis. – 2002. – p. 268.
4. UCI Knowledge Discovery in Databases Archive [Электронный ресурс] / Knowledge discovery in databases DARPA archive and Task Description. – Режим доступа: <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/task.html>, свободный. – Загл. с экрана.– Яз. англ.
5. Intel Corporation. Probabilistic Network Library – User guide and reference manual / – 2004.
6. Akbar S., Rao K., Chandulal J. Intrusion detection system methodologies based on data analysis // International Journal of Computer Applications. – 2010.
7. Потапов А.С. Распознавание образов и машинное восприятие: Общий подход на основе принципа максимальной длины описания. – СПб.: Политехника, 2007. – 548 с.

УДК 621.311.24

## ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

К.А. Ерков, Г.Л. Демидова

Потребление электроэнергии продолжает расти и все больше различных устройств требуют для своей работы электричество. Производство, распределение и использование электрической энергии являются актуальными вопросами и этими параметрами электроэнергии необходимо эффективно управлять. В данной статье проведен информационно-аналитический обзор существующих солнечных электростанций, систем, построенных на основе термоядерного синтеза, ветроэлектростанций, а также их строения и использующихся в них типов электрических машин.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, солнечная энергетика, ветроэлектростанция, термоядерный синтез

В настоящее время в нашей стране актуальны вопросы развития технологий, нацеленных на сокращение энергопотребления объектами промышленности, ЖКХ и муниципальной инфраструктуры. Условно все направления можно разделить на два вида – генерация и потребление.

Наиболее актуальны следующие направления, связанные с генерацией энергии: технологии, направленные на уменьшение потерь в передаче электроэнергии, такие как энергоэффективность и безопасность передачи электроэнергии, накопители электрической энергии, а также повышение эффективности в сфере возобновляемых источников энергии. Также интерес представляют энергетические системы на основе ядерной реакции синтеза.

В настоящее время активно ведутся работы по разработке альтернативных источников электроэнергии, выводу на рынок нового поколения ветрогенераторов, по разработке систем управления высокоэффективной силовой электроникой в данных электротехнических системах.

Для построения современной электротехнической системы необходим обзор существующих электростанций, использующих природные источники энергии, а также применяемых в них систем автоматизированного электропривода.

### Солнечные электростанции

Солнце излучает в окружающее пространство поток мощности, эквивалентный  $4 \cdot 10^{23}$  кВт. Поток солнечной радиации, достигающей Земли, по разным оценкам составляет  $(7,5 - 10) \cdot 10^7$  кВт·ч/год, или  $(0,85 - 1,2) \cdot 10^{14}$  кВт, что значительно превышает ресурсы всех других возобновляемых источников энергии. В настоящее время и в мире, и в России наиболее перспективными являются два вида солнечных

энергетических установок (СЭУ): солнечные коллекторы и солнечные фотоэлектрические установки (СФЭУ). Солнечные коллекторы – это технические устройства, предназначенные для прямого преобразования солнечного излучения в тепловую энергию в системах теплоснабжения для нагрева воздуха, воды [1].

Солнечные фотоэлектрические установки состоят из солнечных батарей (приемных площадок) и получили наибольшее распространение в электроснабжении мегаполисов с преобладанием коттеджной застройки. Наибольшее распространение получили СФЭУ на основе кремния и арсенид галлия.

Из трех составляющих солнечного излучения на Земле - прямая, диффузная (рассеянная) и отраженная от поверхности земли мощность ( $R_{np}$ ,  $R_d$ ,  $R_{omp}$ ) в солнечной энергетике наибольшее значение имеет прямое солнечное излучение –  $R_{np}(t)$  как для горизонтальных, так и произвольно наклоненных приемных площадок. Мощность потока прямого солнечного излучения на произвольно ориентированную приемную площадку площадью  $F(m^2)$  на Земле в любой момент времени ( $R_F(t)$ ) определяется следующим соотношением [2]:

$$R_F(t) = R_m(t) \cdot \cos \theta^0(t), \quad (1)$$

где  $R_m(t)$  – мощность потока прямого солнечного излучения на поверхности Земли на приемную площадку, перпендикулярную  $R_m(t)$  при оптической массе атмосферы  $m$ ,  $\theta^0(t)$  – угол падения прямого солнечного излучения на произвольно-наклоненную под углом  $\beta^0 > 0$  приемную площадку с азимутом  $\gamma^0(t)$ .  $\theta^0(t)$  можно рассчитать как

$$\cos \theta^0(t) = \cos \beta^0(t) \cdot \sin \alpha^0(t) + \sin \beta^0(t) \cdot \cos \alpha^0(t) \cdot \cos(a^0(t) - \gamma^0(t)), \quad (2)$$

где  $\alpha^0(t)$  – высота солнца над горизонтом,  $a^0(t)$  – азимут солнца,  $\gamma^0(t)$  – азимут приемной площадки солнечного излучения.

Учитывая взаимосвязь  $\alpha^0(t)$  и  $a^0(t)$  с другими основными и дополнительными углами для приемной площадки выражение (2) можно представить как:

$$R_F(t) = R_m(t) \cdot (\cos \beta^0(t) \cdot (\sin \varphi^0 \cdot \sin \delta^0(t) + \cos \varphi^0 \cdot \cos \delta^0(t) \cdot \cos \omega^0(t)) + \sin \beta^0(t) \cdot (\cos \gamma^0(t) \cdot (\operatorname{tg} \varphi^0 \cdot (\sin \varphi^0 \cdot \sin \delta^0(t) + \cos \varphi^0 \cdot \cos \delta^0(t) \cdot \cos \omega^0(t)) - \sin \delta^0(t) \cdot \sec \varphi^0) + \sin \gamma^0(t) \cdot \cos \delta^0(t) \cdot \sin \omega^0(t))) \quad (3)$$

где  $\varphi^0$  (град) – широта заданной точки на поверхности земли,  $\delta^0(t)$  – склонение Солнца,  $\omega^0(t)$  – часовой угол Солнца.

Сегодня в России имеются хорошая научная база для развития фотоэнергетики, так, в Санкт-петербургском научно-техническом центре тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф.Иоффе ведутся работы по совершенствованию выпуска тонкопленочных модулей – солнечных батарей. Во второй половине этого года в России будет открыт завод по производству солнечных модулей.

### Термоядерная энергетика

В ядерной энергетике энергия производится за счет работы ядерных сил, совершаемых при слиянии ядер легких элементов и образовании более тяжелых ядер.

Энергетика на основе ядерных реакций деления тяжелых элементов (урана) уже обеспечивает около 20% выработки электроэнергии в мире, и роль ее будет возрастать. Проблемой для ядерной энергетике на основе деления становятся переработка и захоронение радиоактивных отходов, что может сказаться на экономических и



экологических показателей [3]. Проблема овладения энергией реакции ядерного синтеза в мирных целях получила название управляемый термоядерный синтез (УТС).

Наиболее доступной (осуществимой) является реакция слияния ядер изотопов водорода – дейтерия (D) и трития (T). Запасы дейтерия в воде океанов неисчерпаемы, содержание лития в земной коре в 200 раз больше, чем урана. Энергия в 17,6 МэВ на один акт реакции реализуется в виде кинетической энергии нейтрона (80%) и  $\alpha$ -частицы (20%). Нейтрон, покидая плазму, попадает в теплоноситель, окружающий плазму, и его кинетическая энергия переходит в тепловую, а энергия ядер атома гелия ( $\alpha$ -частицы) может быть использована для поддержания температуры плазмы в требуемом диапазоне [3]:



В 1968 г. на Международной конференции по физике плазмы ученые из ИАЭ им. И.В. Курчатова доложили о получении на установке «Токамак-3» устойчиво удерживаемой плазмы с температурой около 5 млн градусов. В мире было сооружено около 300 установок типа токамак. Наиболее крупные из них были построены в Европе, Японии, США и России.

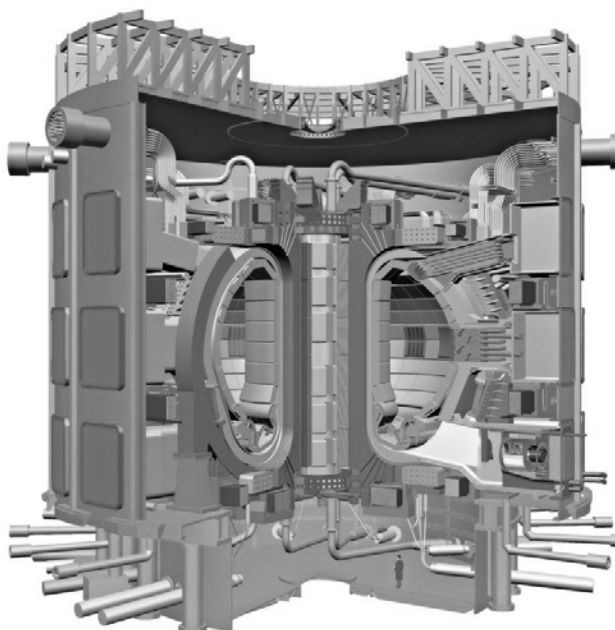


Рис. 1. Схема экспериментального реактора

Габаритные размеры реактора (рис. 1) – 40×40 м. Международный экспериментальный термоядерный реактор ИТЭР станет первой машиной, которая будет вырабатывать мощность 500 МВт за счет термоядерной энергии, однако в настоящее время ядерный синтез больше потребляет энергию, чем создает.

### Ветряные электростанции

Использование ветровых турбин является одной из новых технологий, использующих возобновляемые источники энергии. Развитие данных технологий началось в 1980-е гг. с ветряных турбин мощностью нескольких десятков кВт и в настоящее время достигает нескольких МВт. Таким образом, использование кинетической энергии ветра вначале не имело никакого влияния на энергосистемы, но с ростом мощностей и различных систем управления ветроэлектростанции могут активнее использоваться для электроснабжения потребителей.

В настоящее время в мире и в России наибольшее распространение получили трехлопастные ветроэнергетические установки с горизонтальной осью вращения. Рассмотрим более подробно строение ветряной установки, которое приведено на рис. 2.

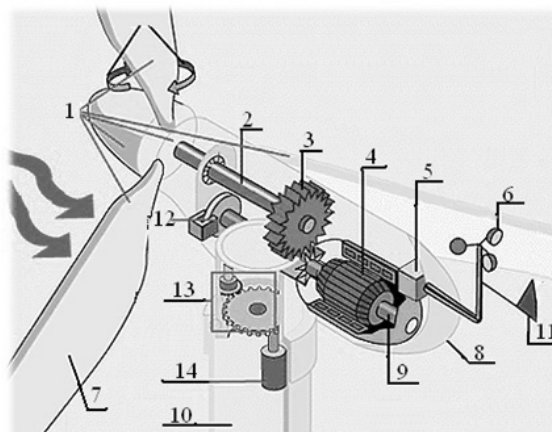


Рис. 2. Строение ветряной установки: 1 – ветроколесо, 2 – вал ветроколеса, 3 – редуктор, 4 – генератор, 5 – контроллер, 6 – анемометр, 7 – лопасти, 8 – корпус, 9 – вал генератора, 10 – опора, 11 – флюгель, 12 – тормозная система, 13 – коробка передач опоры, 14 – двигатель опоры

Наибольшее распространение получила схема ветряной турбины с использованием машины двойного питания (МДП), представленная на рис. 3 [4].

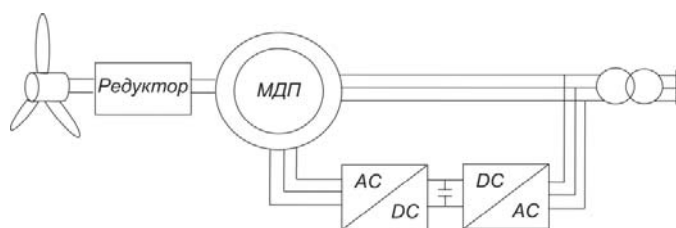


Рис. 3. Структурная схема горизонтальной оси ветряной турбины.

Использование МДП в современных автоматизированных системах позволяет существенно повысить технико-экономические показатели различных технологических установок, в том числе и электроприводов. МДП как электромеханический преобразователь энергии характеризуется высокими энергетическими показателями, обладает хорошей управляемостью, обеспечивая большой пусковой момент [5].

Аэродинамический момент, создаваемый ветром, может быть вычислен как

$$M_w = \frac{\frac{1}{2} \rho \pi R^2 \omega_w C_p}{\omega_r}, \quad (5)$$

где  $\rho$  – плотность воздушного потока,  $R$  – радиус лопастей ветряной установки,  $\omega_w$  – скорость ветра,  $C_p$  – силовой коэффициент,  $\omega_r$  – скорость вращения низкоскоростного вала ветряной установки. Ток в преобразователях управляется с использованием методов векторного управления. В результате электромагнитный момент генератора вычисляется с использованием формулы (6):

$$M_G = -\frac{L_m}{L_s} n_p \Psi_s i_{rd}, \quad (6)$$

где  $L_m$  – взаимная индуктивность между ротором и статором,  $L_s$  – индуктивность статора,  $n_p$  – количество пар полюсов,  $\Psi_s$  – потокосцепление статора,  $i_{rd}$  –  $d$  составляющая тока ротора.

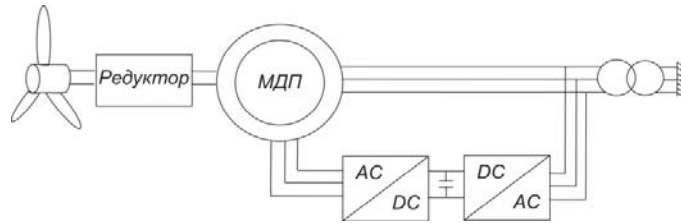


Рис. 4. Структурная схема горизонтальной оси ветряной турбины

Использование МДП в современных автоматизированных системах позволяет существенно повысить технико-экономические показатели различных технологических установок, в том числе и электроприводов. МДП, как электромеханический преобразователь энергии, характеризуется высокими энергетическими показателями, обладает хорошей управляемостью, обеспечивая большой пусковой момент [5].

Шестимассовая модель ветряной установки, учитывающая влияние упругости связей на работу электропривода и характер движения лопастей представлена на рис. 5 [6], где  $J_{L1}$ ,  $J_{L2}$ ,  $J_{L3}$  – моменты инерции лопастей,  $J_K$  – момент инерции ветроколеса,  $J_P$  – момент инерции редуктора,  $J_G$  – момент инерции генератора. Жесткость связей между массами обозначены  $C_{L1}$ ,  $C_{L2}$ ,  $C_{L3}$ ,  $C_{HB}$ ,  $C_{BB}$ . Коэффициенты демпфирования между массами обозначены  $\xi_{LK1}$ ,  $\xi_{LK2}$ ,  $\xi_{LK3}$ ,  $\xi_{HB}$ ,  $\xi_{BB}$ . Некоторые потери момента обозначены через коэффициенты демпфирования отдельных масс и обозначены  $\xi_{L1}$ ,  $\xi_{L2}$ ,  $\xi_{L3}$ ,  $\xi_K$ ,  $\xi_P$ ,  $\xi_G$ . Также на модели показаны моменты, действующие на лопасти  $M_{L1}$ ,  $M_{L2}$ ,  $M_{L3}$  и момент генератора  $M_G$ .

Пренебрегая нежесткостями, можно получить одномассовую модель механизма (рис. 6). Одномассовая модель описывается следующим уравнением:

$$2J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} = M_W - M_G - \xi\omega \quad (7)$$

где  $J_{\Sigma}$  – суммарный момент инерции,  $\omega$  – скорость вращения,  $\xi$  – коэффициент демпфирования.

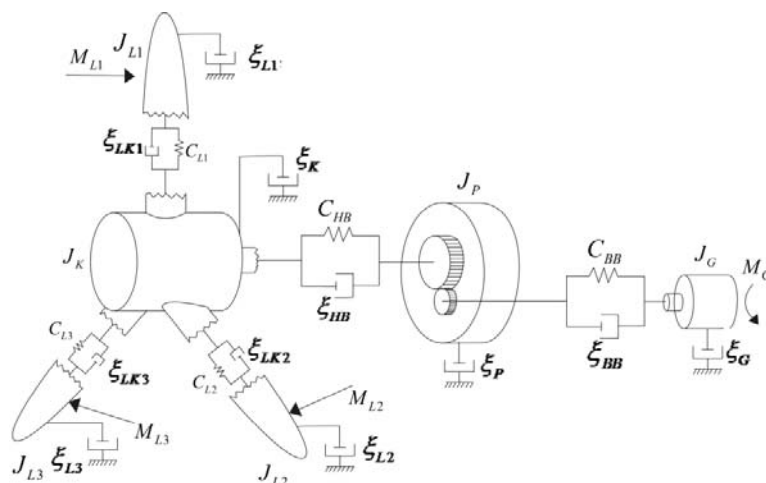


Рис. 5. Структурная схема шестимассовой модели

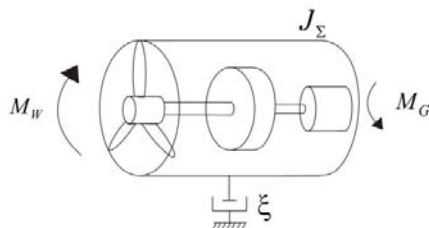


Рис. 6. Структурная схема одномассовой модели

Весьма перспективным для России представляется совместное использование ветроэнергетических и дизельных установок, которые в настоящее время составляют основы локальных систем электроснабжения территорий страны.

### Заключение

Потребление электроэнергии продолжает расти, а также используется в различных областях жизни людей и целесообразно использовать электростанции с альтернативными источниками энергии не в промышленной энергетике, а для эффективного электроснабжения потребителей.

В результате проведенного информационно-аналитического обзора был сделан вывод, что в России ветроэлектростанции являются наиболее развивающимися технологиями при использовании возобновляемых источников энергии.

В результате была выбрана математическая модель для анализа переходных процессов для описания ветряной электростанции.

### Литература

1. Е. Аметистов, А. Бурман, В. Строев / Основы современной энергетики. В 2 томах. Том 2. Современная электроэнергетика – М.: Изд.: МЭИ ISBN 978-5-383-00503-3, 2010. – 646 с.
2. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова – М.: Изд: МЭИ, 2008. – 320 с.
3. Энергетика будущего. Международный проект ИТЭР / Под ред. академика Е.П. Велихова – М.: ООО «Типография ЦПР», 2010. – 36 с.
4. Lianwei Jiao, Boon-Teck Ooi, G'eza Jo'os, Fengquan Zhou. Doubly-fed induction generator (DFIG) as a hybrid of asynchronous and synchronous machines // Electric Power Systems Research 76 – 2005 – С. 33–37.
5. Аристов А.В. Современное состояние и перспективы развития машин двойного питания в составе электропривода колебательного движения // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – т.307 – № 6. – С. 135-139.
6. Muyeen S.M., Mohammad Abdul Mannan, Hasan Ali, Mohd., Takahashi, R., Murata, T. Tamura, J.; Tomaki, Y.; Sakahara, A.; Sasano, E. Fault Analysis of Wind Turbine Generator System Considering Six-Mass Drive Train Model // Electrical and Computer Engineering, 2006. ICECE '06. International Conference on – 2006 – С. 205-208

УДК 004.932

## СОПРОВОЖДЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ИНТЕРЕСА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРА МАЛОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О СТАТИСТИКЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИМИТИВОВ

**П.А. Ермолаев, М.А. Волынский**

Предложен метод ускорения исследования микрорельефа поверхностей при помощи интерферометра с малым полем зрения (порядка  $200 \times 200$  мкм) путем применения сопровождающих алгоритмов, использующих априорную информацию об исследуемой поверхности. В качестве такой информации рассматривается статистика параметров геометрических примитивов. Рассмотрены два метода получения статистики – теневой метод и метод восстановления формы из фокусировки. Реализован алгоритм сопровождения границ микронеровностей на исследуемой поверхности на основе фильтра Калмана.

**Ключевые слова:** теневой метод, форма из фокусировки, фильтр Калмана

### Введение

Для задач криминалистики, оптимизации технологического процесса производства бумаги, исследования и реставрации предметов искусства и других приложений требуются бесконтактные высокоразрешающие методы контроля поверхностей исследуемых объектов. Традиционно для подобных исследований применяются интерференционные методы [1] как наиболее точные из оптических. Однако интерферометры [2] используют высокоапертурные объективы с малым полем зрения (порядка  $200 \times 200$  мкм). Исследуемые микронеровности имеют площади порядка  $1 \text{ мм}^2$ , в результате чего возникает задача сканирования многих участков с последующей сшивкой результатов.

Сканирование одного участка требует значительных затрат времени и ресурсов. Для повышения быстродействия таких систем имеет смысл проводить сканирование только областей, представляющих интерес или областей интереса – участков, содержащих заданное изменение высоты рельефа (границу). Области интереса занимают значительно меньшую площадь, чем вся исследуемая поверхность.

В статье предложен метод сопровождения областей интереса на основе линейного фильтра Калмана [3] с внешним управлением в виде вектора весовых коэффициентов, отражающих наиболее вероятные направления границ микронеровностей на поверхности исследуемого объекта. Данные о наиболее вероятном направлении границ микронеровностей могут быть получены при помощи предварительного экспресс-анализа объекта методами малой точности: теневым методом или методом восстановления формы из фокусировки [4].

### Теневой метод

Теневой метод – метод вычисления высоты границ объекта путем вычисления длины тени этого объекта при освещении его с разных направлений. Данный метод предоставляет возможность быстро, дешево и с приемлемой точностью определить положение и высоту границ неровностей исследуемой поверхности.

Установка, используемая для получения необходимых для вычисления длины теней изображений, состоит из восьми белых светодиодов, расположенных на сторонах правильного восьмиугольника и подключаемых к персональным компьютерам через интерфейс LPT. Объект последовательно освещается с различных направлений.

Камера, расположенная над рабочей областью, регистрирует изображения объекта и его тени (рис. 1). На следующем этапе происходит вычисление градиентов интенсивности пикселей по направлениям освещения (рис. 2) и высоты границ исследуемого объекта.

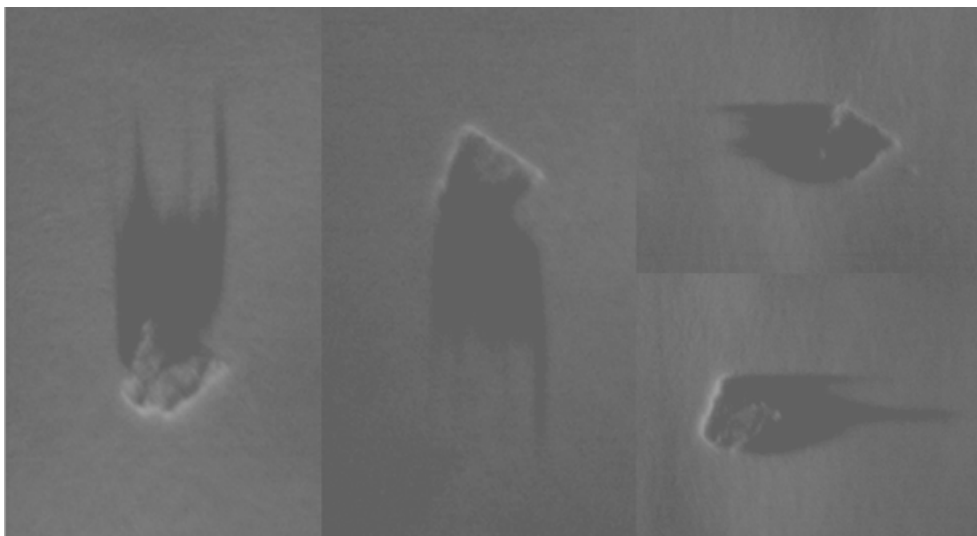


Рис. 1. Изображения объекта исследования (картон), освещенного с различных направлений

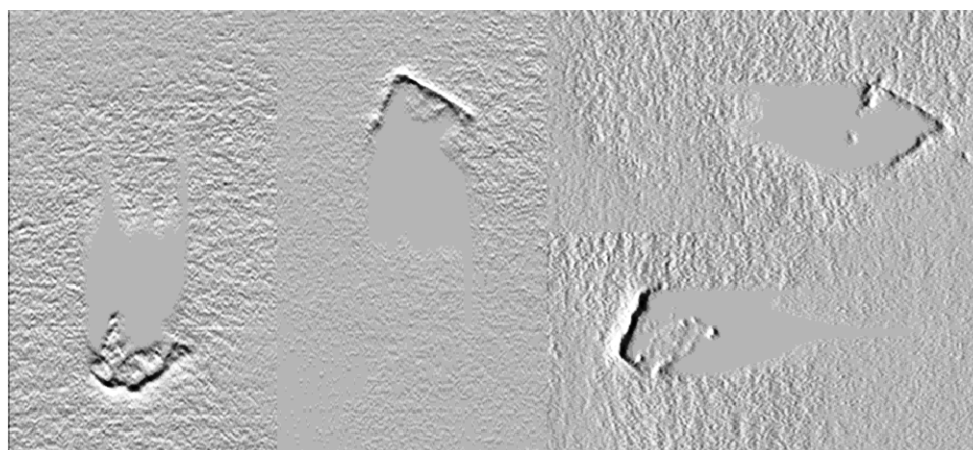


Рис. 2. Производные, вычисленные по направлениям освещения

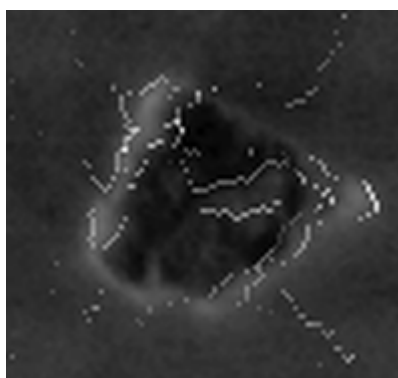


Рис. 3. Полутонная карта высот границ микронеровностей наложенная на изображение объекта (картон)

По полученным изображениям градиентов можно вычислить высоту исследуемого объекта в точках на его границах, подсчитав длину тени от каждой точки. Точками тени считаются пиксели, интенсивность которых незначительно в исследуемом направлении отличается друг от друга. Зная масштаб пикселя, высоту расположения светодиодов и расстояние от диода до объекта можно вычислить высоту объекта в точках границ, как  $H = l \sin \alpha$ , где  $l$  – длина тени в мм.

На рис. 3 пикселями в оттенках серого отмечены границы микронеровностей на исследуемом объекте. Большой высоте границы в точке соответствует большая яркость пикселя. Яркости со значением 255 (белый цвет) соответствует высота 1,5 мм. Данная высота рассчитывалась относительно рабочей плоскости прибора.

### Метод восстановления формы из фокусировки

Метод восстановления формы из фокусировки – метод восстановления глубины сцены по набору слоев – изображений микрообъектов, полученных с изменяемым положением плоскости фокусировки. Метод предполагает анализ некоторого числа изображений (слоев) поверхности, полученных из одной точки пространства и отличающихся глубиной фокусировки. При этом элементы поверхности в период регистрации изображений были неподвижны [4]. Задача заключается в построении карты глубины исследуемой поверхности.

Построение такой карты осуществляется с помощью вычисления значения локальной дисперсии для каждого пикселя каждого слоя. Далее происходит анализ локальных дисперсий пикселей на всех слоях. В результирующее изображение высокой четкости (карту глубины) помещаются яркости пикселей и слоев, в которых их локальная дисперсия максимальна (слоя, в котором пиксель виден наиболее резко).

Исследования с помощью метода восстановления формы из фокусировки и сопровождение микронеровностей может быть реализовано при использовании одного прибора – микроинтерферометра МИИ-4 на базе интерферометра Линника [2].

### Статистика геометрических примитивов

Для демонстрации дальнейшей работы выбран более сложный объект – давленная надпись на листе бумаги плотностью  $80 \text{ г/м}^2$ , так как он наиболее сходен с реальными объектами, располагающими большим количеством неровностей, расположенных на большей площади поверхности (рис. 4).



Рис. 4. Изображение давленной надписи

С помощью теневого метода находится карта высот, к которой применяется преобразование Хафа [5] – алгоритм, реализующий извлечение геометрических примитивов из изображения. В общем случае преобразование Хафа может быть использовано для поиска любых геометрических примитивов, форму которых возможно описать аналитическим уравнением. Для описания формы границ микронеровностей достаточным является использование только кривых первого порядка – прямых линий. Использование кривых более высоких порядков сложно для формирования внешнего управления в алгоритме сопровождения.

В результате преобразования для прямых линий создается массив данных, хранящий в себе координаты точек начала и конца каждого найденного в результате преобразования отрезка. Эти данные позволяют построить распределения количества найденных отрезков прямых по их углам наклона и длинам (рис. 5, 6).

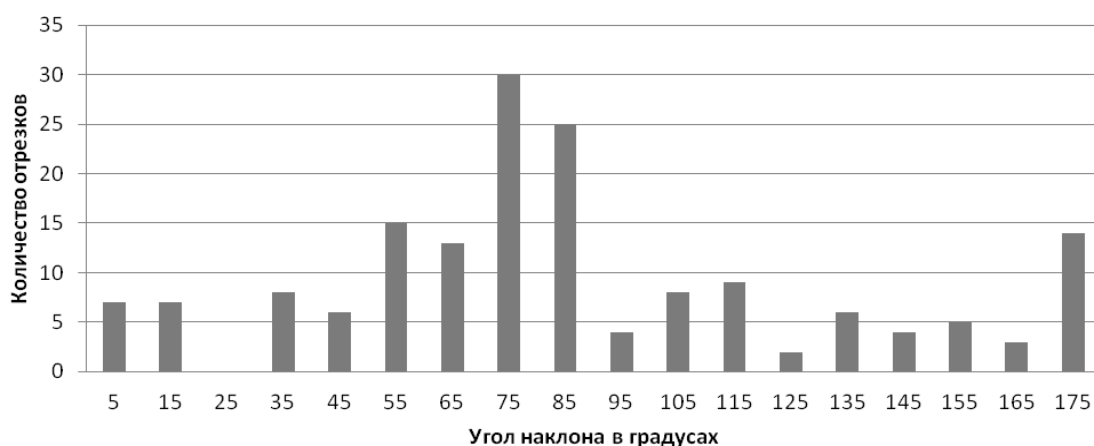


Рис. 5. Распределение геометрических примитивов первого порядка по углам наклона

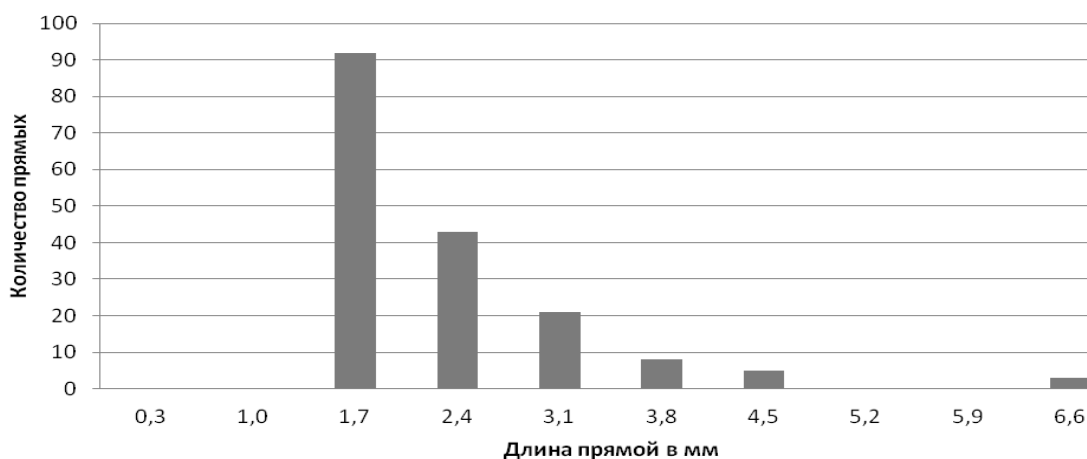


Рис. 6. Распределение геометрических примитивов первого порядка по длинам

На гистограмме распределения количества отрезков по углам около половины всех найденных отрезков имеет угол наклона в промежутке 50–90°. На гистограмме распределения длин более 90 % отрезков имеет длину от 1,4 до 3,5 мм, причем около 65 % от всех отрезков располагают длиной от 1,4 до 2,1 мм. Распределения отрезков по углам наклона и длинам являются неравномерными.



Преобразование Хафа может применяться к изображениям, получаемым методом восстановления формы из фокусировки. Преимуществом такого способа получения информации для сопровождения будет отсутствие необходимости перемещения исследуемого объекта с установки, реализующий исследование теневым методом, на предметный столик интерференционного микроскопа.

### Алгоритм сопровождения микронеровностей

В основу разрабатываемого метода сопровождения положен алгоритм фильтрации Калмана [3], реализованный в библиотеке компьютерного зрения OpenCV [6].

Фильтр Калмана – рекурсивный фильтр, позволяющий оценивать состояние динамической системы на основе ряда неполных и зашумленных измерений. Традиционно он используется для задач навигации, компьютерного зрения, оценки параметров экономических моделей и создания систем управления (является важной частью теории управления).

Итерации фильтра Калмана делятся на два этапа: предсказание (экстраполяция) и коррекция. На этапе предсказания оценивается вектор состояния. Применительно к задаче сопровождения областей интереса на поверхности объекта вектор состояния представляет собой координаты объектива интерферометра на плоскости поверхности этого объекта. На этапе коррекции происходит дополнение априорной экстраполяции текущими измерениями для уточнения оценки.

При решении поставленной задачи сопровождения области в качестве параметра наблюдения системы используется предполагаемое наиболее вероятное в соответствии со статистическими данными, полученными с помощью преобразования Хафа, положение областей интереса на плоскости, задаваемого двумя координатами. Этими координатами являются суммы текущих координат объектива интерферометра по осям и проекций единичных векторов направлений на эти оси, умноженные на шаг фильтра. В зависимости от увеличения шага фильтра уменьшается перекрытие исследуемых областей, но так же уменьшается и точность попадания область интереса. В случае неверного предсказания фильтр и объектив возвращаются в предыдущее состояние, а для значения измерения на этапе коррекции используется единичный вектор менее вероятного направления.

Начальная координата объектива интерферометра находится пользователем, т.о. сканирование всегда начинается с области интереса. По завершении сканирования определенного участка пользователь определяет следующий такой участок и т.д.

На рис. 7 представлен демонстрационный трек объектива интерферометра при использовании предлагаемого метода сопровождения, с шагом фильтра 0,25 мм.

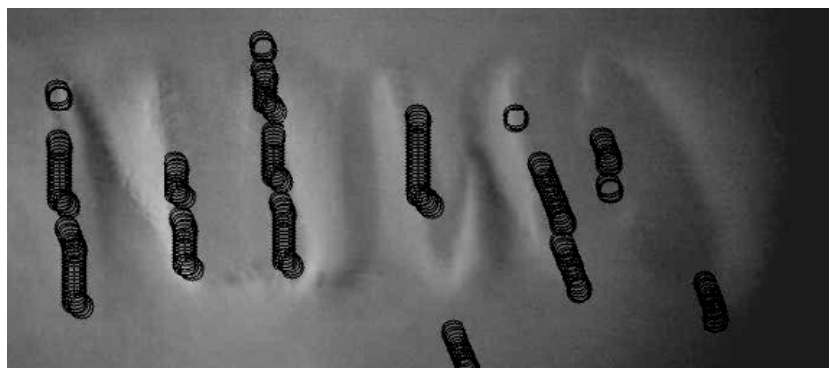


Рис. 7. Демонстрационный трек объектива интерферометра

Значительная часть положений объектива интерферометра соответствуют положению областей интереса на изображении. Областью интереса в данном случае считались области, в которых существуют границы неровностей поверхности.

### **Заключение**

Предлагаемый в работе метод сопровождения областей интереса может быть использован для ускорения исследования микронеровностей на поверхностях объектов. Предлагаемые методы экспресс-анализа поверхности объекта предоставляют достаточную информацию для реализации сопровождения областей интереса. Преобразование Хафа может быть применено к изображениям, полученным как при помощи теневого метода, так и метода восстановления формы из фокусировки. Таким образом, в результате обоих методов будут получены данные одного рода, что делает возможным более точное исследование областей интереса с использованием двух различных методов получения априорной статистической информации.

В будущем для получения априорной информации о форме границ микронеровностей наиболее перспективным представляется использование метода восстановления формы из фокусировки,

Практика показала, что достаточным является использование статистики одного класса геометрических примитивов – отрезков прямых линий, так как они с приемлемой точностью описывают форму границ микронеровностей на поверхности исследуемого объекта. Определение положения следующей области интереса затруднено, если использовать статистику геометрических примитивов высших порядков.

### **Литература**

1. Gurov I., Karpets A., Margariants N., Vorobeva E. Full-field high-speed optical coherence tomography system for evaluating multilayer and random tissues // Proc. SPIE, 2007. V. 6618. P. 661807.
2. Коломийцев Ю.В. Интерферометры. – Л.: Машиностроение. – 1976. 296 с.
3. Kalman R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems // Trans. ASME, J. Basic Eng, 1960. V. 82. P. 35-45.
4. Аверкин А.Н., Потапов А.С., Рожков А.С. Формирование и визуализация 3D изображений микрообъектов по серии видеок кадров с изменяемой фокусировкой // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2011. – № 6 (76). С. 12-17.
5. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – М.: Бинوم. Лаборатория знания. – 2006. 752 с.
6. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. – O'Reilly Media. – 2008. 555 p.

УДК 004.588

## СРЕДА РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ ДЛЯ СДО ACADEMICNT

**Е.А. Ефимчик, А.В. Лямин**

В работе приведено описание, назначение компонентов среды разработки виртуальных лабораторий, использующих протокол RLCP и совместимых с системой дистанционного обучения AcademicNT. Описан алгоритм разработки и тестирования RLCP-совместимых виртуальных лабораторий с помощью каркаса виртуальной лаборатории и среды тестирования виртуальных лабораторий, указаны результаты применения этих средств в учебном процессе, а также описаны планы дальнейшего развития.

**Ключевые слова:** виртуальная лаборатория, AcademicNT, RLCP, дистанционное обучение, электронное обучение.

### Введение

Виртуальная лаборатория (ВЛ) представляет собой электронную среду, позволяющую создавать и исследовать модели реальных явлений. Виртуальные лаборатории достаточно сложны в разработке, но предоставляют уникальные возможности в образовательном процессе [1]. Для упрощения разработки и применения виртуальных лабораторий в НИУ ИТМО был разработан протокол взаимодействия с виртуальными лабораториями RLCP (Remote Laboratory Control Protocol). Введение этого протокола позволило унифицировать и в значительной степени автоматизировать процессы разработки и применения виртуальных лабораторий. RLCP-совместимые виртуальные лаборатории имеют строго predetermined структуру – в их состав должны входить виртуальная лабораторная установка и RLCP-сервер, отвечающий за проверку заданий. В настоящий момент идет разработка инструментов поддержки реализации виртуальных лабораторных установок с помощью различных апплет-технологий.

Протокол RLCP поддерживается системой дистанционного обучения (СДО) AcademicNT, применяемой в НИУ ИТМО и некоторых других вузах. Первая версия протокола предусматривала выполнение испытуемыми заданий, которые те получали случайным выбором из некоторого банка заданий, созданного методистами курса. По ряду причин было принято решение создать возможность генерирования заданий для виртуальных лабораторий в реальном масштабе времени [2]. Поэтому была разработана вторая версия протокола RLCP 2.0, предусматривающая автоматическое построение задания.

### Протокол RLCP

Протокол RLCP (Remote Laboratory Control Protocol) служит для обеспечения взаимодействия сервера виртуальной лаборатории и RLCP-клиента, который обеспечивает поддержку виртуальной лабораторной установки и получает решение от пользователя.

При запросе пользователем задания RLCP-клиент, например, СДО AcademicNT, сначала посылает запрос методом Generate на сервер ВЛ, получает от сервера сгенерированные данные, и на их основе строит задание, которое и предоставляется пользователю. Затем, когда пользователь посылает запрос на проверку ответа, RLCP-клиент посылает запрос на сервер ВЛ методом Check для проверки ответа пользователя. Диаграмма последовательности представлена на рис. 1.

В состав запросов, отправляемых методом Generate, входят инструкции для генерирования, указываемые в описании динамического лабораторного кадра. Ответ сервера же содержит наборы данных для построения кадра. Один набор поставляется в

качестве параметра для виртуальной установки, второй служит для отображения варианта в тексте задания, а третий содержит набор инструкций серверу ВЛ для проверки ответа пользователя.

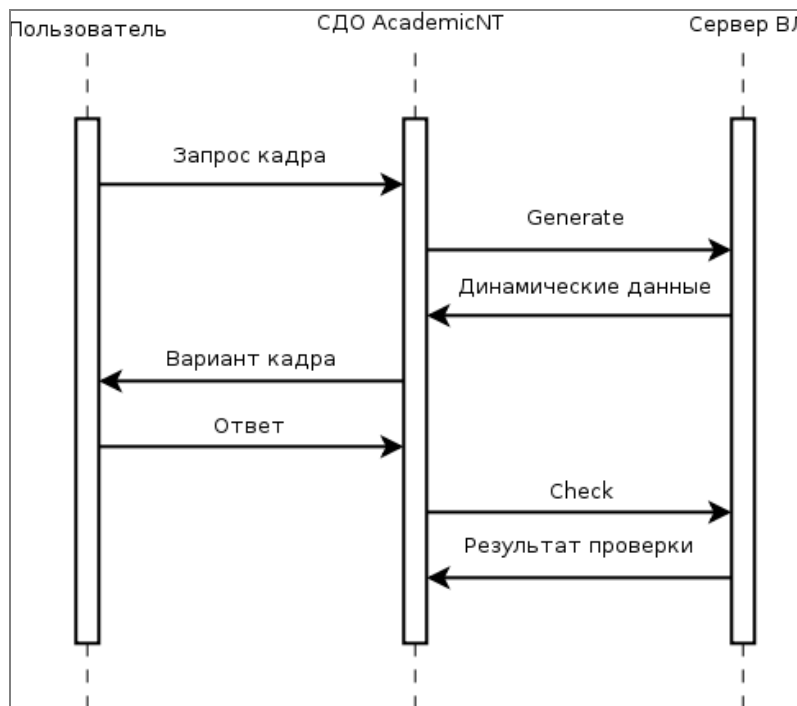


Рис. 1. Диаграмма последовательности выполнения задания ВЛ

Состав запроса метода Check, доступного еще в RCLP 1.0, был расширен, теперь сюда входит и набор данных, полученных с помощью ранее вызванного метода Generate.

RCLP-клиент может обрабатывать ответы серверов так, как считает нужным, и отображение кадра с заданием для виртуальной лаборатории может отличаться в зависимости от типа и назначения RCLP-клиента. Например, среда тестирования ВЛ, применяемая в НИУ ИТМО для отладки виртуальных лабораторий и заданий к ним, отображает динамически построенный кадр примерно так, как показано на рис. 2.

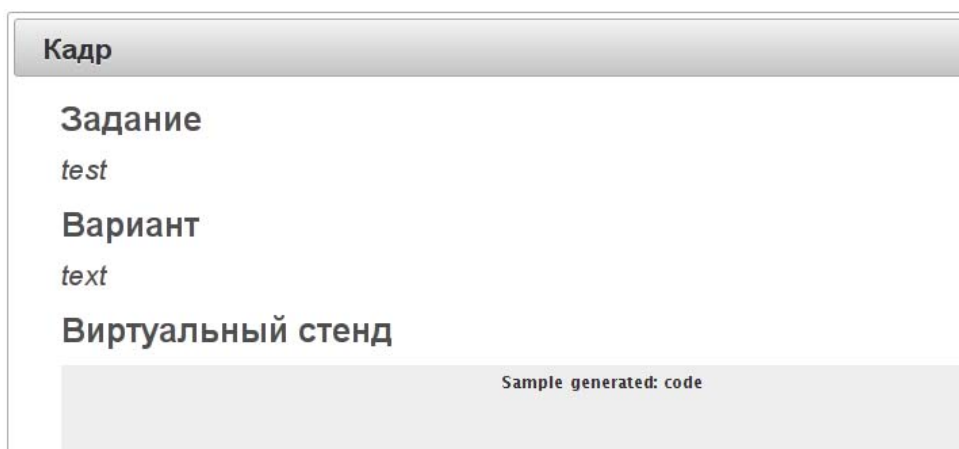


Рис. 2. Динамический кадр в среде тестирования ВЛ

В данном случае полученные после вызова запроса методом Generate динамические данные влияют на отображение поля «Вариант» и внешний вид тестовой виртуальной установки — текст, отображаемый в ней, получен из данных, возвращенных сервером.

Возможен вариант обработки кадра задания и без генерирования данных, в этом случае задание берется из банка и предоставляется пользователю в изначальном виде. Именно так обрабатывались все задания в первой версии протокола.

### **Описание компонентов среды разработки ВЛ**

Для упрощения и ускорения процессов разработки и тестирования RLCP-совместимых виртуальных лабораторий был разработан набор технических средств и методических руководств по их применению, в совокупности составляющие среду разработки и тестирования RLCP-совместимых ВЛ.

Прежде всего, был разработан каркас виртуальной лаборатории, который позволяет разработчикам создавать виртуальные лаборатории максимально быстро, причем без изучения особенностей работы протокола RLCP, с удобными средствами тестирования компонентов виртуальной лаборатории. После этого была создана среда тестирования виртуальных лабораторий, в которой разработчик может проверить правильность взаимодействия компонентов виртуальных лабораторий, а также тестировать наборы заданий для них, в том числе построенных автоматически. Логичным продолжением стало выделение модулей поддержки протокола RLCP и базового RLCP-сервера во внешние библиотеки, что позволило унифицировать работу RLCP-клиентов, которыми, например, являются СДО AcademicNT и среда тестирования виртуальных лабораторий. На текущий момент стоит задача создания независимого RLCP-клиента, с помощью которого пользоваться в учебном процессе RLCP-совместимыми виртуальными лабораториями смогут не только пользователи AcademicNT, но и широкий круг пользователей самых различных учебных заведений и прочих организаций. Этот проект будет развиваться при помощи малого инновационного предприятия «AcademicMT» при НИУ ИТМО.

### **Библиотеки поддержки протокола RLCP**

Для стандартизации работы с протоколом RLCP были разработаны две основные библиотеки: r1cp и r1cp-server. Первая содержит основные средства поддержки главных конструкций протокола – запросов и ответов различных методов, некоторые вспомогательные классы, а также простой и удобный API для организации сетевого взаимодействия с RLCP-сервером. Она используется и RLCP-клиентами, и RLCP-серверами. Библиотека r1cp-server зависит от базовой библиотеки r1cp и является основой RLCP-сервера ВЛ. В ней реализованы алгоритмы поддержки обработки запросов различных RLCP-методов. Эта библиотека является основой каркаса виртуальной лаборатории.

### **Каркас виртуальной лаборатории**

Каркас RLCP-совместимой ВЛ – это главный инструмент среды разработки ВЛ. Он представляет собой кросс-платформенный проект на языке Java, не привязанный к какой-либо среде разработки на этом языке, но легко интегрируемый в любую из них.

Каркас включает в себя полностью функциональный сервер виртуальной лаборатории, разработчику необходимо лишь описать алгоритмы обработки запросов

различных методов RLCP. Так, например, для метода Check, отвечающего за автоматическую верификацию пользовательского решения, нужно только описать алгоритм проверки решения пользователя.

Каркас включает в себя и заготовку виртуальной установки — базовую имплементацию соответствующего интерфейса с самыми первичными реализованными функциями. Это позволит разработчику начинать разработку виртуального стенда не с нуля, но в то же время сохранить свободу в использовании самых разных средств технологии Java Swing апплетов. В дальнейшем список поддерживаемых апплет-технологий будет расширен.

Самым важным преимуществом каркаса ВЛ являются широкие средства быстрого тестирования как сервера ВЛ, так и виртуальной лабораторной установки, которые являются большим подспорьем и экономят большое количество времени в процессе разработки и отладки.

### Среда тестирования виртуальных лабораторий

Среда тестирования виртуальных лабораторий представляет собой RLCP-клиент, поддерживающий управление набором виртуальных лабораторий, инструментами быстрого и удобного редактирования и импорта виртуальных лабораторий и заданий для них, гибким интерфейсом тестирования заданий для виртуальных лабораторий с богатой обратной связью и функциями управления состоянием кадра задания.

Основной интерфейс управления набором виртуальных лабораторий имеет два режима – режим просмотра и режим редактирования. Первый представлен на рис. 3, второй – на рис. 4.

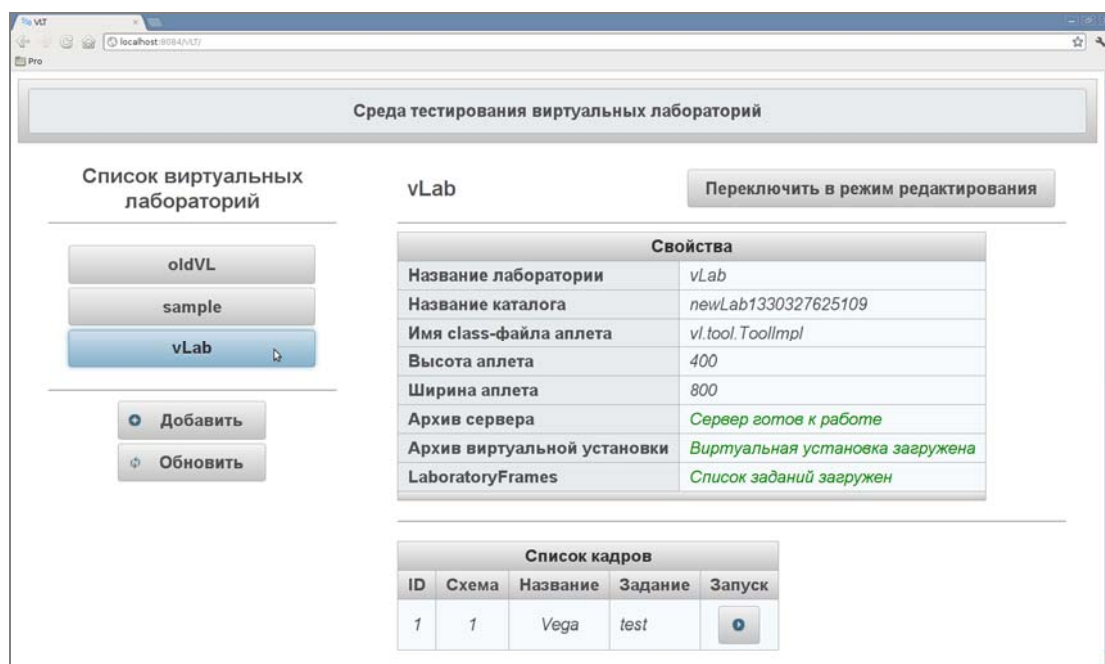


Рис. 3. Режим просмотра виртуальной лаборатории

При запуске задания из интерфейса просмотра виртуальной лаборатории мы попадем в интерфейс тестирования задания виртуальной лаборатории. Он содержит кадр задания, состояние которого изменяется во времени, приведенный выше, на рис. 2, и достаточно большой набор данных о текущем состоянии кадра, RLCP-запросах и ответах, состоянии сервера.

Среда тестирования виртуальных лабораторий разработана с использованием новейших веб-технологий и является отправной точкой для создания независимого RLCP-клиента для широкого круга пользователей.

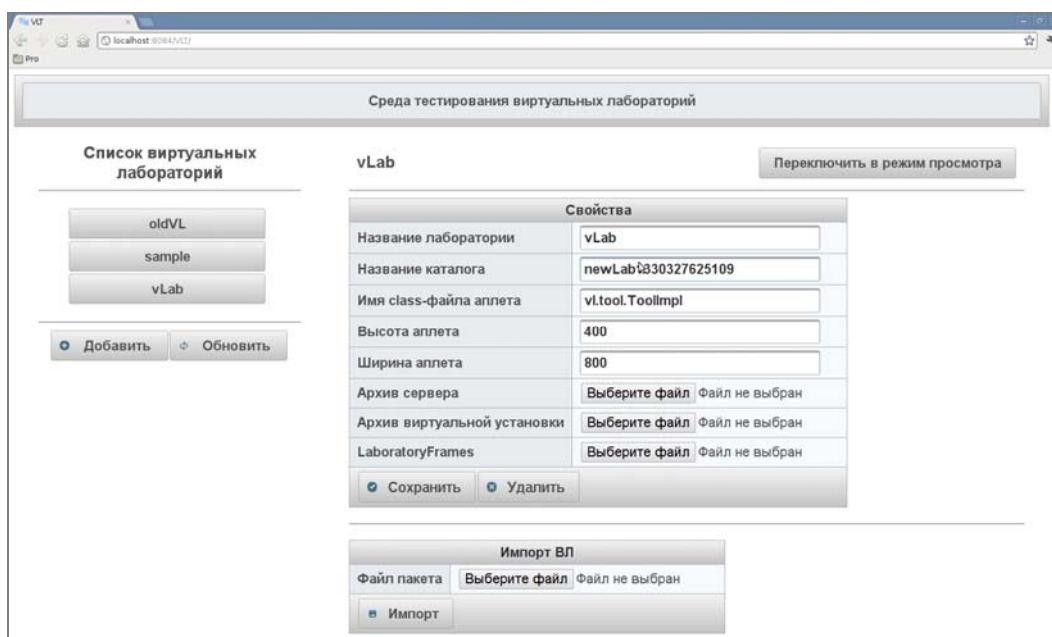


Рис. 4. Режим редактирования виртуальной лаборатории

## Заключение

Сразу после создания средства разработки и тестирования виртуальных лабораторий были применены в учебном процессе. Осенью 2011 года студенты пятого курса использовали каркас виртуальной лаборатории в рамках курсового проекта по дисциплине «Дистанционные технологии в образовании». Это позволило повысить качество представляемых работ и сократить время на их разработку. В настоящий момент запланировано анкетирование пользователей каркаса ВЛ и студентов прежних лет, ныне выпускников, для уточнения и утверждения данных. Среда тестирования виртуальных лабораторий была включена в учебный процесс в весеннем семестре 2011/2012 годов в рамках дисциплины «Технология разработки виртуальных лабораторий».

Запланированы некоторые дальнейшие улучшения средств разработки виртуальных лабораторий. В разработке находится проект независимого RLCP-клиента для расширения области применения и популяризации RLCP-совместимых виртуальных лабораторий.

## Литература

1. Ефимчик Е.А., Лямин А.В. Виртуальные лаборатории в дистанционном образовании и особенности их разработки // Материалы научно-практической конференции "Математические методы и модели анализа и прогнозирования развития социально-экономических процессов черноморского побережья Болгарии". Поморие, Болгария, 2012.
2. Ефимчик Е.А., Лямин А.В. Генерирование заданий для виртуальных лабораторий по дискретной математике // Труды XVIII Всероссийской научно-методической конференции "Телематика'2011". Санкт-Петербург, 2011. Т. 1. С. 169170.

УДК 663.2

## **МЕТОДЫ ФАЛЬСИФИКАЦИИ ВИНОГРАДНЫХ ВИН В ИСТОРИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ И НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**

**М.И. Закатин, И.Ю. Кулаков, Е.И. Ефремова**

Рассмотрена проблема фальсификации виноградного вина от древнейших времен до наших дней. Представлено описание и анализ методов фальсификации виноградного вина XIX – начала XX вв. и методов фальсификации этого напитка, находящих применение в современной практике.

**Ключевые слова:** виноградное вино, фальсификация, петиотизация, галлизация, шеелизация, шапталализация.

### **Введение**

Виноградные вина – популярный продукт, употребляемый человечеством на протяжении многих тысячелетий. История его богата, поэтому корни такого негативного и широко распространенного в настоящее время явления, как фальсификация, нужно искать в глубине веков. Целью исследования являлось изучение литературных источников периода XIX – нач. XX вв. по вопросам фальсификации виноградных вин и сопоставление их с современными данными.

### **История возникновения виноделия и фальсификации вин**

Вино – напиток, полученный путем полного или частичного сбраживания свежего виноградного сусла, мезги. Виноградарство и виноделие зародились в глубокой древности, примерно 5-7 тысяч лет назад в районах Междуречья (Месопотамии), Кавказа и Малой Азии. Около 3 тысяч лет назад культура винограда и виноделия утвердилась в Древней Греции. Уже в это время было известно до 150 сортов винограда и сотни сортов вина.

Римляне позаимствовали технологию виноградарства и виноделия у греков. В римское время производство вина еще более возросло, а в императорскую эпоху виноделие распространилось по всем провинциям империи. За пределами Италии первые виноградники возникли в Галлии за 600–700 лет до н.э., что привело к дальнейшему распространению этого напитка по всему миру.

Вино на Руси было известно еще до принятия христианства, а в конце X века стало обязательным традиционным напитком. Этот напиток привозился купцами из Византии и Малой Азии и был известен как сирский (сирийский) или греческий. До середины XII века такое вино пили лишь в разбавленном виде по традициям Греции и Византии. Именно с этого периода под вином подразумевалось чистое виноградное вино, не разбавленное водой. Появилось понятие кислого сухого вина, виноградного сладкого, с пряностями, красного, высшего качества (церковного) и десертного.

С течением времени вино стало неотъемлемой частью жизни, и его производство всегда приносило хорошую прибыль. Именно погоня за легкой прибылью способствовала развитию механизма фальсификации различных товаров, в том числе и виноградных вин. Под фальсификатом виноградного вина понимают любой продукт, подвергшийся изменениям органолептических и физико-химических показателей с целью выдачи его как подлинного качественного виноградного вина в корыстных целях, то есть для обмана потребителя.

### **Методы фальсификации виноградного вина**

Одним из самых старых и наиболее распространенных методов фальсификации виноградного вина является обмер, обвес из-за отсутствия единых и поверенных



средств измерения (мер, весов и т.п.) и разбавление водой для увеличения объема продаваемого вина.

Изучение источников научной литературы XIX–XX вв [1–4] позволил выявить основные методы фальсификации виноградных вин этого периода: галлизацию, шапталлизацию, петиотизацию, добавление красителей, глицерина и др.

Галлизация как способ фальсификации виноградного вина заключается в добавлении воды в вино с последующим доведением крепости и кислотности до определенных пределов, регламентируемых действующим стандартом.

Шапталлизация вина – прием, прежде всего заключающийся в добавлении сахара до или во время брожения. В результате вино становится менее кислым, а количество алкоголя в нем увеличивается.

Фальсифицированные вина получают также путем настаивания и брожения сахарного сиропа на выжимках (мезге), оставшихся после отделения виноградного сока. Этот способ фальсификации называется петиотизацией вина. Он является весьма изощренным, так как букет и цвет натурального виноградного вина сохраняются.

Шееллизация – способ фальсификации, при котором в вино добавляют искусственный глицерин с целью его подслащивания.

Окрашивание вин, как правило, применяется для сокрытия других подделок (например, разбавления). В XIX веке для превращения белого вина в красное использовались только природные красители – ягоды бузины, черники, сандал, лепестки мальвы, фернамбук, плоды лаконоса (кормосовые ягоды), красный краситель кармин, который получали из высушенных самок кошенили. Большинство названных красителей обладают слабительным действием на организм человека, а сок лаконоса ядовит и может стать причиной смерти.

Подделка букета вина наряду с окрашиванием используется в комплексе с другими видами фальсификации.

Фальсифицировали и способ производства. За высококачественные выдавались вина, изготовленные с нарушением технологической схемы, разработанной и утвержденной для данного наименования вина. Например: сортовые вина представляли как купажные. Также фальсифицировали срок выдержки вина и др.

Л.А. Фаерман [1] в своем труде «Фальсификация важнейших питательных продуктов» отметил, что существует способ фальсификации вина при помощи добавления свинцового сурика, который отравляет напиток. Его добавляли для уничтожения избытка кислоты в виноградном вине, однако он мог попасть в напиток и непреднамеренно, через посуду, содержащую свинец.

В XIX – начале XX вв. на долю вин приходились самые высокие объемы фальсификации среди пищевых продуктов [2], что способствовало развитию способов обнаружения некачественных вин. В 1909 г. Б.Я. Калустовым, П.Н. Деллэ, Е.М. Кестнером были проведены исследования вин Южной Бессарабии [4]. По данным химического анализа было выявлено, что большая часть поступившего вина оказалась фальсифицированной, а некоторые образцы могли быть даже опасными для здоровья человека.

Большинство перечисленных методов до сих пор используется фальсификаторами, о чем свидетельствуют современные данные [5–7]. Однако в XXI в. появились новые способы фальсификации виноградных вин, характеризующиеся совершенствованием технологий фальсификации виноградного вина. Иногда отличить настоящее вино от подделки по органолептическим показателям не в силах не только любитель, но и специалист.

Одной из основных тенденций является использование синтетических красителей (анилиновая, нафталиновая, антраценовая краски, индигокармин, фуксин) вместо

красителей растительного происхождения, используемых при фальсификации ранее. Это объясняется высокой стоимостью натуральных красителей. Например, один из видов красной краски получали вывариванием древесины фернамбука – редко встречающегося дерева с ценной оранжевой древесиной.

Не обошлось и без появления совершенно новых методов фальсификации: приготовление «искусственных» вин и добавление консервантов. Для производства «искусственных» вин не требуется виноградный сок, так как они представляют собой смесь компонентов, органолептически воспринимаемую как виноградное вино.

Несоблюдение полной технологии производства требует использования консервантов, многие из которых запрещены к использованию (салициловая, бензойная кислоты и др.). Их вводят в вино для консервации легко закисающих вин, а также вин, не прошедших выдержки и хранения.

### **Способы обнаружения фальсификации**

Для определения подлинности вина пользуются органолептическими методами (дегустацией) и физико-химическим анализом.

Дегустацию проводят специалисты, которые оценивают цвет, аромат и букет вина. Профессиональные дегустаторы должны иметь большие знания и опыт, включающий знание аромата и вкуса различных вин, способов и районов выработки, закономерностей изменения свойств вина в ходе производственного процесса, умение органолептически опознавать малейшие отклонения в показателях напитка.

В процессе физико-химического анализа в винах определяются объемная доля этилового спирта (крепость), массовая концентрация сахаров, титруемая кислотность, приведенный экстракт, содержание сернистой кислоты (свободной и связанной) и летучих кислот.

### **Заключение**

В последнее время проблема фальсификации виноградных вин приобретает все более острый характер. Теперь остерегаться подделок приходится не только массовому потребителю, на которого изначально была направлена деятельность фальсификаторов, но и потребителям «элитного» вина. Так, например, в 2012 г. на аукционе редких и дорогих вин в Лондоне с торгов пришлось снять 13 вин хозяйства *Domaine de la Romanee Conti (DRC)* вследствие несоответствия деталей маркировки бутылок. Аналогичные скандалы, в которых обнаруживались фальсифицированные вина, происходили на торгах в Лос-Анджелесе в 2007 году и в Нью-Йорке в 2008 г. [8].

В ходе исследования мы пришли к выводу, что состав методов фальсификации виноградных вин коренным образом не изменился. Однако почти за век фальсификаторы в совершенстве овладели искусством создания подделок и настолько хорошо изучили механизм фальсификации, что зачастую обнаружить такой продукт без применения методов физико-химического анализа не представляется возможным.

### **Литература**

1. Фаерман Л.А. Фальсификация важнейших питательных продуктов [Текст]. – Одесса: тип. Е.Деранкова, 1881. – 88 с.
2. Блауберг М.Б. Русское виноградное вино и херес. Составные методы исследования, основы химико-санитарной оценки и фальсификация [Текст]. – М.: тип. Э.Лиснер и Ю.Романа, 1894 – 351 с.

3. Леонардов П. Фальсификация вина и способы распознавания его подделки [Текст]. – СПб: журн. «Домашний ремесленник», 1912. – 14 с.
4. Калустов Б.Я. Фальсификация вина в Южной Бессарабии по данным химического анализа [Текст]. – Одесса: «Славянская» тип. Е. Хрисогелос, 1913 – 56 с.
5. Столярова А.С. Товароведение и экспертиза вкусовых товаров: Учебное пособие [Текст]. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 140 с.
6. Казанцева Н.С. Товароведение продовольственных товаров: Учебник [Текст]. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К<sup>о</sup>», 2007. – 400 с.
7. Николаева М.А., Положишникова М.А. Идентификация и обнаружение фальсификации продовольственных товаров: учебное пособие. [Текст] – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – 464 с.
8. WHYWHYWINE.RU (.COM) [Электронный ресурс]. – Скандалы в мире вина. Берегитесь Руди! – Режим доступа: <http://whywhywine.ru/stati/vino-i/-/skandaly-v-mire-vina-beregites-rudi>.

УДК 539.2

## НАНОПОРОШКИ: СВОЙСТВА, ПОЛУЧЕНИЕ, ПРИМЕНЕНИЕ

Д.С. Замаратских

В обзоре систематизируется информация о мировом рынке нанопорошков. Рассмотрены методы получения нанопорошков. Перечислены основные характеристики порошков, а также на конкретных примерах показаны области их применения.

**Ключевые слова:** нанотехнологии, нанопорошок, свойства нанопорошков, методы получения нанопорошков, рынок нанотехнологий.

Одним из приоритетных направлений развития современного материаловедения являются наноматериалы и нанотехнологии. Рынок нанотехнологий переживает свое стремительное развитие, о чем свидетельствует рост инвестиций в отрасль, а также количества научных разработок, патентов и публикаций по данной проблематике. Достижения нанотехнологий сегодня активно включаются практически во все отрасли экономики.

Производство нанопорошков является на сегодняшний день наиболее масштабным в сравнении с другими наноматериалами. Поскольку нанопорошки представляют собой качественно новый продукт, предлагаемый на мировом рынке, существует проблема регулирования их производства и потребления. В настоящее время не существует ни одного государственного стандарта, касающегося нанопорошков. Очевидно, что необходима разработка документации, регламентирующей их свойства, выработка требований, предъявляемых к нанопорошкам, разработка методик контроля их качества.

Целью данного обзора является систематизация информации о мировом рынке нанопорошков. Поставлены такие задачи, как изучение методов получения, основных характеристик нанопорошков, областей их применения, приоритетных направления использования нанопорошков.

Под нанопорошком понимают [1] совокупность находящихся в соприкосновении индивидуальных твердых тел (или их агрегатов) размером от нескольких до 100 нанометров. Структура и свойства нанопорошков формируются на стадии их изготовления. Процессы, в результате которых происходит формирование наноструктур [2], – это кристаллизация, рекристаллизация, фазовые превращения, высокие механические нагрузки, интенсивная пластическая деформация, полная или частичная кристаллизация аморфных структур. Выбор метода получения наноматериалов определяется областью их применения и желательным набором

свойств конечного продукта. Методы получения порошков (см. табл. 1) [3] весьма разнообразны; их можно разделить на химические и физические. Это разделение весьма условно, так как они всегда пересекаются и дополняют друг друга.

Методы получения нанопорошков			
	Химические		Физические
Химическое осаждение из паровой фазы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Перенос через газовую фазу</li> <li>• Восстановление с последующим разложением</li> </ul>	Физическое осаждение из паровой фазы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Термическое испарение (электродуговой, электронно-лучевой, лазерный нагрев)</li> <li>• Взрывное испарение</li> <li>• Испарение в потоке инертного газа</li> </ul>
Высокоэнергетический синтез	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Детонационный</li> <li>• Плазмохимический</li> </ul>		
Осаждение из растворов	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Химическое осаждение</li> <li>• Золь-гель метод</li> <li>• Жидкофазное восстановление</li> <li>• Гидротермальный синтез</li> <li>• Микроэмульсионный</li> <li>• Криохимический</li> </ul>	Распыление расплава	<ul style="list-style-type: none"> <li>• С помощью водоохлаждаемого диска или барабана</li> <li>• Ударное</li> <li>• Электродинамическое</li> </ul>
Разложение нестабильных соединений	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Термическое</li> <li>• Радиационное</li> </ul>	Механическое измельчение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Размол в мельницах</li> <li>• Противоточный размол в псевдооживленном слое</li> </ul>
Восстановительные процессы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Водородное восстановление соединений металлов</li> <li>• Химико-металлургический</li> </ul>		

Таблица 1. Методы получения нанопорошков [3]

Химические методы получения нанопорошков включают, как правило, различные процессы: осаждение, термическое разложение, пиролиз, газофазные химические реакции (восстановление, гидролиз), электроосаждение [4]. Регулирование pH и температуры позволяет получать высокие скорости кристаллизации и обеспечивать образование высокодисперсного гидроксида. Метод позволяет получать порошки сферической, игольчатой, чешуйчатой или неправильной формы.

Физические методы синтеза нанопорошков основаны [4] на испарении металлов, сплавов или оксидов с последующей их конденсацией при контролируемых температуре и атмосфере. Фазовые переходы пар – жидкость – твердое тело или пар – твердое тело происходят в объеме реактора или на охлаждаемой подложке (стенках). Исходное вещество испаряется посредством интенсивного нагрева и с помощью газаносителя подается в реакционное пространство, где подвергается быстрому

охлаждению. Размер и форма частиц зависят от температуры процесса, состава атмосферы и давления в реакционном пространстве.

Механические методы основаны на измельчении материалов в мельницах (шаровых, планетарных, центробежных, вибрационных), гироскопических устройствах, атриторах и симолойерах. Механически измельчают металлы, керамику, полимеры, оксиды, другие хрупкие материалы, причем степень измельчения зависит от их природы. Так, для оксидов вольфрама и молибдена крупность частиц составляет около 5 нм, для железа – порядка 10–20 нм.

Технология осаждения из растворов является одной из наиболее изученных способов получения нанопорошков. Общей чертой этой группы является проведение химических реакций в водных растворах солей.

Методы физического осаждения из паровой фазы в настоящее время используются наиболее широко. Это связано с тем, что технологии испарения вещества с помощью различных высокоинтенсивных источников энергии и последующего осаждения его являются достаточно отработанными, легко контролируются и обеспечивают высокие требования по чистоте получаемого нанопорошка, особенно при использовании камер с контролируемой атмосферой.

Механическое измельчение частиц материала (предварительно полученные порошки, гранулы, размолотые слитки) принадлежит к числу наиболее распространенных методов изготовления порошков. Особенно легко получать порошки на основе хрупких материалов. Порошки пластичных, высокопрочных и аморфных материалов получить труднее. В этом случае возрастает опасность чрезмерного нагрева материала и загрязнения его продуктами износа рабочих частей технологического оборудования.

Нанопорошки характеризуются следующими параметрами [5]: средний размер частиц и распределение частиц по размерам; средний размер кристаллитов и распределение кристаллитов по размерам; степень агломерации частиц; удельная площадь поверхности; химический состав объема частиц; состав по сечению для частиц ядро-оболочка; морфология частиц; химический состав поверхности; кристаллическая структура наночастиц; содержание влаги и других адсорбатов; сыпучесть (текучесть); насыпная плотность; цвет.

Как одну из основных характеристик при производстве порошка указывают его химический состав. Но дается только приблизительное содержание основных компонентов без примесей или состав исходного материала. В связи с этим необходима разработка методик определения химического состава готового продукта.

Второй важной характеристикой является кристаллическая структура нанопорошка, которая может отличаться от структуры исходного материала, что существенно влияет на свойства вещества. Поэтому зачастую необходим контроль кристаллической структуры при производстве.

Для исследования наноматериалов в принципе могут применяться практически те же методы, что и для исследования обычных кристаллических материалов (оптические, спектральные, РЭМ, ПЭМ, СЗМ, магнитные и др.). Однако у наноматериалов существует особая специфика, которая заключается в предъявлении повышенных требований к разрешающей способности методов, а именно возможность исследовать участки поверхности образцов с размерами менее 100–200 нм.

Уже существует достаточное количество методов исследования нанопорошков. Ниже приведена сравнительная таблица наиболее распространенных из них (см. табл. 2).

Стоимость и размеры зондовых микроскопов, как правило, значительно ниже, чем у электронных, а возможности вполне соизмеримы. Для ряда вариантов зондовой

микроскопии наличие вакуума не требуется, материалы исследования могут быть самые разнообразные, в том числе изоляторы, полупроводники, биологические объекты. При этом исследования могут проводиться без существенного повреждения объекта и с достаточно простой подготовкой его поверхности (например, только полировка отдельного участка).

Метод исследования	Разрешающая способность	Плюсы и минусы метода
Электронная микроскопия: Просвечивающая [2]	До 0,1 нм	Дает возможность получить в одном эксперименте изображения с высоким разрешением и микродифракционные картины одного и того же участка образца. По полученному изображению можно судить о строении материала, а по дифракционной картине – о типе кристаллической решетки.
Растровая (РЭМ) [6]	До 5 нм	Позволяет проводить высококачественные исследования поверхности шероховатых образцов. Недостатком метода РЭМ является возможность исследования только проводящих материалов, поэтому зачастую необходима дополнительная предварительная подготовка образца.
Сканирующая зондовая микроскопия [7] Сканирующая туннельная микроскопия [7]	До 0,1 – 1 нм По плоскости до 0,1 нм По высоте до $10^{-4}$ нм	Точное перемещение с достаточно низкой скоростью. Ограничениями метода сканирующей туннельной микроскопии являются обязательность электропроводности материала исследуемого образца и необходимость высокого или сверхвысокого вакуума и низких температур (до 50-100 К) для получения высоких разрешений. В то же время для разрешения в диапазоне порядка 1 нм эти требования необязательны.
Атомно-силовая микроскопия (AFM) [7]	По плоскости до 1 нм По высоте до 0,1 нм	Узким местом метода является стойкость материала иглы.
Магнитосиловая микроскопия (MFM) [7]	10-50 нм	
Спектроскопические методы: Электронная Оже-спектроскопия (AES) [8] Масс-спектроскопия вторичных ионов [8]	До 50 нм По глубине 1-10 нм По поверхности до 500 нм	Позволяет судить о химическом составе поверхностного слоя исследуемого вещества, а в ряде случаев также дает сведения о химических связях атомов в нем. Существует возможность определения всех элементов тяжелее гелия. Метод обладает высокой чувствительностью и позволяет определять все химические элементы, включая водород и гелий.
Лазерный микронзондовый анализ [9]	До 100 нм	Исследование материала проводят в вакууме. Метод позволяет исследовать все виды материалов и анализировать как положительные, так и отрицательные ионы всех химических элементов, а также разрешать изотопы и идентифицировать

		органические радикалы. Недостатком метода является достаточно низкая точность определения количественного содержания.
Рентгенофлуоресцентная спектрометрия (XRF, РФА, РФС)		Используемый для определения концентраций элементов от Бериллия (№4) до Урана (№92). Экспресс-метод, не требует дополнительной подготовки образца.
Рентгенофазовый анализ; рентгеноструктурный анализ (XRD)		Экспресс-метод, не требует дополнительной подготовки образца.

Таблица 2. Методы исследования нанопорошков

Основные области применения наноразмерных элементов – это электроника, медицина, химическая фармацевтика и биология.

Все производимые в настоящее время наноматериалы подразделяют на четыре группы: оксиды металлов и кремния, сложные оксиды (состоящие из двух и более металлов), порошки чистых металлов и смеси (см. рис. 1) [10]. Оксиды металлов составляют не менее 80 % всех производимых нанопорошков. Нанопорошки чистых металлов составляют значительную и все больше возрастающую долю общего объема производства. Сложные оксиды и смеси выпускают в ограниченном количестве. Но ожидается, что потребность в них в долгосрочной перспективе возрастет.

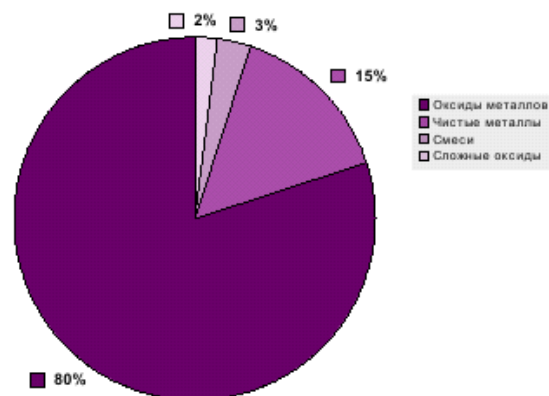


Рис. 1. Структура нанопорошков по типам [10]

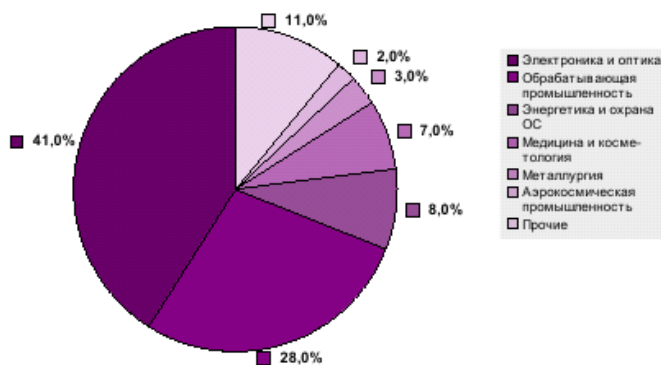


Рис. 2. Потребление нанопорошков по отраслям [10]

Нанопорошки не являются конечной продукцией, а используются в различных производственных процессах. Соответственно степень принятия той или иной отрасли нанопорошков влияет на их объемы потребления.

В настоящее время на регулярных основаниях нанопорошки потребляют две ключевые отрасли: электроника (в основном, кремнезем) и обрабатывающая промышленность. Остальные отрасли характеризуются высоким потенциалом, однако спрос с их стороны пока представлен в форме разовых заказов. Структура потребления нанопорошков по отраслям в мировом масштабе представлена на рис. 2 [10].

Анализируя все вышесказанное, можно сделать следующие выводы.

Основной объем производимых нанопорошков приходится на оксиды металлов и кремния. В настоящее время на регулярных основаниях нанопорошки потребляют две ключевые отрасли: электроника (в основном, оксид кремния) и обрабатывающая промышленность. Для дальнейшего развития этой сферы производства необходима разработка стандартов и методик контроля качества порошков.

Электронные и зондовые методы исследования мало подходят для промышленного производства из-за своей высокой себестоимости и малой скорости съемки. Поэтому следует уделить внимание спектроскопическим и рентгеновским методам, но спектроскопические методы имеют гораздо меньшую разрешающую способность. Рентгеновские методы позволяют создавать экспресс-методики контроля элементного, фазового и кристаллического состава, не требуют большой дополнительной подготовки образца, имеют низкую себестоимость анализа и занимают мало времени (несколько минут).

### Литература

1. Андриевский Р. А. Наноструктурные материалы: Учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2005 – 192 с.
2. Карабасов Ю. С. Новые материалы. Колл. авторов. – М: «МИСИС», 2002–736 с.
3. Алымов М.И., Зеленский В.А. Методы получения и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов. М.: МИФИ, 2005. 52 с.
4. Федеральный интернет-портал [Электронный ресурс] / Нанотехнологии и наноматериалы; ред. Е.А. Дорофеева. Нанопорошки и методы их получения. – Электрон. дан. - Режим доступа: <http://thesaurus.rusnano.com/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
5. Словарь нанотехнологических и связанных с нанотехнологиями терминов [Электронный ресурс] / Нанопорошок. – Электрон. дан. - Режим доступа: <http://thesaurus.rusnano.com/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
6. Геллер Ю.А., Рахштадта А.Г. Материаловедение. Учеб пособие. М.: Металлургия, 1989 456 с.
7. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. М.: Изд-во «Машиностроение –1», 2003 112 с.
8. Бернштейн М.Л., Рахштадт А.Г. Металловедение и термическая обработка стали. М.: Металлургия, 1991. Т1.1. 304 с.
9. Ковалев А.И., Щербединский Г.В. Современные методы исследования поверхности металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1989 192 с.
10. Департамент маркетинговых исследований RESEARCH.TECHART [Электронный ресурс] / Маркетинговое исследование рынка нанопорошков, маркетинговая группа «Текарт» – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.research-techart.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.



УДК 535.317.2

**КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНЕВОГО МЕТОДА  
ФУКО****М.Е. Зацепина, В.К. Кирилловский**

Теневой метод Фуко используется для исследований деформаций волнового фронта, связанных с аберрациями оптических систем и ошибками оптических поверхностей. Традиционный теневой метод не позволяет осуществлять количественные оптические измерения ошибок. Компьютеризация теневоего метода создаст возможность для получения полной карты волнового фронта поверхности и системы и таблицы коэффициентов Цернике, а также проведения расчета характеристик качества изображения на основании этих данных.

**Ключевые слова:** теневой метод Фуко, метод нити, метод Ронки, изофотометрия.

**Введение**

В 1856 году Леон Фуко предложил метод исследования качества оптических поверхностей и систем, сыгравший огромную роль в оптическом приборостроении - теневой метод. В этом методе высокая чувствительность сочетается с чрезвычайной простотой выполнения и наглядностью. Метод Фуко теоретически применим для исследования любой оптической системы, из которой выходит сферический или близкий к нему по форме волновой фронт.

Основная идея теневых методов состоит в обнаружении боковых смещений лучей за счет их задерживания или модификации. Это осуществляется путем помещения специальных экранов в плоскость схождения пучков лучей от контролируемой оптической поверхности или системы.

Первоначально метод применялся для контроля формы вогнутых сферических поверхностей большого диаметра, в дальнейшем нашел применение для контроля формы асферических поверхностей, качества объективов, сложных оптических систем, неоднородностей оптического стекла и т. п. [1].

Для получения теневой картины деформаций исследуемого волнового фронта непрозрачный экран с прямолинейным краем (нож Фуко) устанавливается в плоскости схождения параксиального пучка лучей перпендикулярно оптической оси. Экран наполовину перекрывает пятно рассеяния (рис. 1, а). Теневая картина наблюдается в плоскости экрана, расположенной за пятном рассеяния (рис. 1, б).

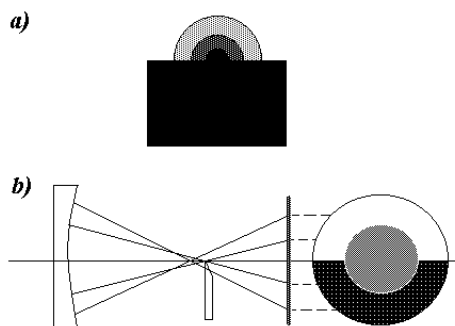


Рис. 1. Схема образования теневых картин по методу Фуко

При отсутствии ошибок зеркало выглядит равномерно освещенным. Наличие ошибок создает светотень, визуализирующую рельеф ошибок поверхности в результате срезания ножом пучков лучей от неверно заклоненных участков волновой поверхности. Пучки от участков волновой поверхности, имеющих правильную сферическую форму,

перекрываются (следовательно, и ослабляются) лишь наполовину, и соответствующая зона зрачка имеет освещенность порядка 50%.

Если нож помещают между идеальным сферическим зеркалом и его фокусом и перемещают по нормали к оптической оси, то теневая картина состоит из резко разделенных темной и светлой областей и первая из них перемещается по зеркалу в том же направлении, что и нож. Если нож находится за фокусом, направление перемещения темного участка меняется на противоположное. При введении ножа точно в фокус зеркало затемняется внезапно и полностью, без каких-либо заметных движений теневой картины. Это довольно точный способ определения положения центра кривизны.

Если контролируемое зеркало не является сферическим, а каждый его участок имеет свой отличный радиус кривизны, при помещении ножа в различные точки относительно оптической оси соответствующая зона поверхности темнеет.

### **История и современное развитие теневого метода**

Теневой метод Фуко уже более ста лет считается чисто качественным. В последние годы появились работы, исследующие получение количественных оценок ошибок системы по данным испытаний теновым методом [2].

Первые попытки количественного применения теневых методов заключались в следующем: при изучении какого-либо объекта постепенно уменьшалась чувствительность измерения. Устанавливался момент, когда неоднородность переставала быть видимой. При известной контрастной чувствительности приемника такая операция позволяет найти максимальный угол отклонения световых пучков.

Данный метод дает обобщенную оценку качества изготовления оптических деталей: объективов, зеркал, линз, заготовок стекла и др. Метод позволяет определить величину максимальной ошибки и класс точности изготовления, однако он мало пригоден для получения топограммы волновой поверхности.

Количественные теневые методы, основанные на использовании ножа особой формы (количественной диафрагмы), были разработаны Д.Д. Максutowым [3].

### **Контроль методом нити**

Метод ножа Фуко очень чувствителен при обнаружении зональных погрешностей [4]. Метод неудобен для определения размеров дефектов на исследуемой поверхности, фокограммы мало полезны при контроле несферических поверхностей, поскольку многие мелкие дефекты теряются на фоне асферичности зеркала.

Для определения асферичности зеркал Ричи предложил при контроле зеркал методом Фуко использовать экран с зональными щелями при контроле произвольной асферической поверхности.

Куде разработал более универсальный экран, с помощью которого экспериментально находят ширину только краевой зоны.

Для прецизионного контроля поверхностей используют метод нити. Контроль методом нити применим только для контроля отклонений от сферичности поверхностей и по своему принципу аналогичен контролю с помощью очень узкого зонального ножа. При его исполнении тонкую непрозрачную нить перемещают в пределах области пересечения нормалей различных кольцевых зон с оптической осью контролируемой поверхности зеркала (рис. 2). Момент пересечения с осью нормали к определенной зоне оптической поверхности определяется по затемнению кольца на фоне однородно освещенного поля. На практике точечный источник света и нить помещают в общую плоскость и перемещают их одновременно.

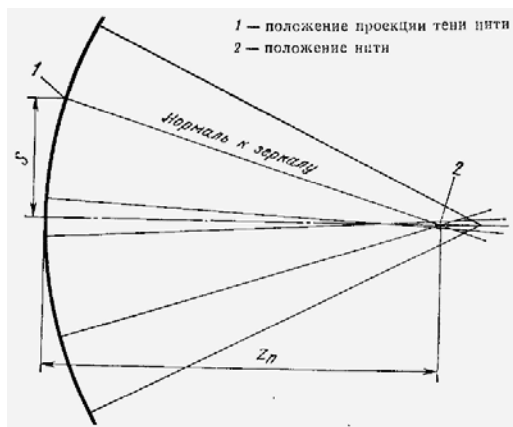


Рис. 2. Принципиальная схема контроля методом нити

Основным преимуществом метода нити по сравнению с методом зонального ножа является его способность ограничивать экранирующее действие вплоть до очень узкой области на контролируемом участке. Более того, дифракционные эффекты здесь симметричны по отношению к кольцевым зонам (рис. 2). Места пересечения нормалей с оптической осью можно измерить значительно точнее и оценить отклонения экспериментальных значений пересечений от теоретических (получить значения aberrаций нормалей).

Контроль методом нити имеет еще и то преимущество, что измеренные значения пересечений нормалей с оптической осью соответствуют теоретическим данным пересечения параксиальной зоны. Эта особенность оказывается чрезвычайно полезной при контроле зеркал с центральным отверстием.

Поскольку область, перекрываемая нитью, соответствует только краю ножа в методе Фуко, теневая картина в этом случае содержит только темные контуры (а, табл. 1), которые можно для интереса сравнить с классическими фокограммами (а', табл. 1).

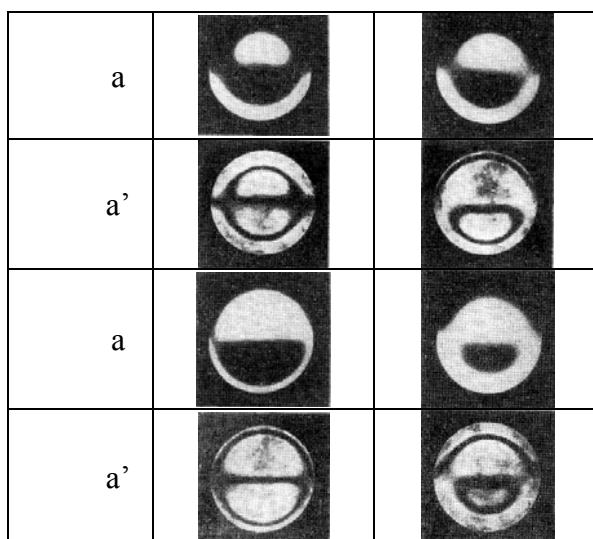


Таблица 1. Теневые картины ножа Фуко и соответствующие им теневые картины, полученные методом нити

Основным недостатком метода нити является то, что конечная ширина теневой картины иногда скрывает небольшие смещения всей тени при перемещении нити вдоль оптической оси.

Теневой метод применяется для контроля деформаций волнового фронта, вызванных ошибками и аберрациями в процессе изготовления оптических поверхностей, элементов и систем, особенно крупногабаритных астрономических зеркал, при контроле свильности оптического стекла, исследованиях воздушных потоков и других явлений.

Основными достоинствами теневых методов являются

- их высокая чувствительность при обнаружении и оценке деформаций волнового фронта и ошибок оптических поверхностей,
- простота схемной реализации и качественной интерпретации результатов,
- экономичность,
- наглядность, позволяющая не только обнаружить отдельные ошибки и отметить их расположение на оптической поверхности или в зрачке, но и указать общий характер аберраций (сферическая аберрация, кома, астигматизм и их сочетания).

По простоте реализации метод Фуко является уникальным по сравнению с другими оптическими методами и может рассматриваться как первый по настоящему производственный способ, на основе которого были разработаны другие многочисленные варианты оптического контроля. К недостаткам метода относятся не преодоленные до конца трудности количественной интерпретации теневого изображения; метод в настоящее время применяется преимущественно для технологического контроля в форме качественных оценок состояния оптических поверхностей и материалов, а также уровня аберраций оптических элементов и систем.

Таким образом, метод применяется в основном как качественный метод оценки и используется при изготовлении оптических поверхностей на этапе формообразования, а также при контроле оптических элементов и систем.

### Схема компьютеризированной теневой установки

Помимо метода ножа Фуко и метода нити, получили развитие методы, использующие совокупность параллельных нитей, которые в дальнейшем развились в методы теневых решеток. Большое внимание в своих трудах методу решеток уделял В. Ронки [5]. Метод Ронки – один из простейших и наиболее удачных способов оценки измерения аберраций оптических систем – имеет две эквивалентные описательные модели: геометрическую (или теневую) и физическую. Теневая модель интерпретирует полосы как тени полос решеток, а физическая модель объясняет появление системы полос с позиции дифракции и интерференции света.

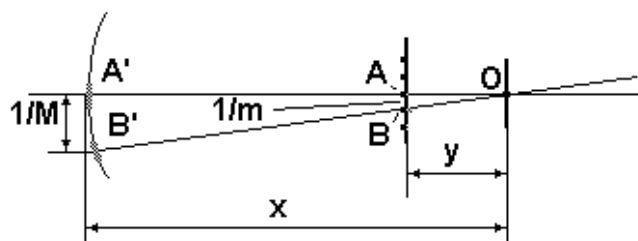


Рис. 3. Интерференционный механизм образования полос

$$M = \frac{ym}{x}. \quad (1)$$

Геометрическое соотношение (1) связывает частоту решетки  $m$  и частоту ее теневого изображения  $M$  с расстояниями двух дифракционных порядков.

Таким образом, метод решеток Ронки во многих практических случаях относят к теневым методам. При необходимости количественной обработки картины полос Ронки она рассматривается как интерференционная. Один из современных методов ее количественной расшифровки состоит в следующем [6].

Картина полос, соответствующая деформациям исследуемого волнового фронта посредством матричной камеры, соединенной с прибором Ронки, с одной стороны, и подключенной к компьютеру, с другой стороны, вводится в компьютер, где полосы картины подвергаются оцифровке. Необходимо получить две картины полос с ориентацией решетки в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

### **Методы количественной обработки теневого изображения**

Для реализации количественного теневого метода в современных условиях может быть, по мнению авторов, эффективно использован метод изофотометрии [2], первоначально разработанный для исследования структуры ФРТ при оценке характеристик качества изображения оптической системы.

Результаты визуальных оценок не позволяют определить в количественной форме распределение освещенности в пятне рассеяния и волновые aberrации системы. Следовательно, они не дают возможности перейти к однозначным количественным критериям и характеристикам оценки качества изображения. Это, в свою очередь, не дает возможности точно количественно аттестовать систему и исключает автоматизацию контроля.

В современных условиях методы изофотометрии используют различные современные электронные приемники изображения, включая матричные.

Достоинства метода изофотометрии с переменным накоплением [6]:

- большой диапазон измеряемого перепада освещенностей в пятне рассеяния;
- высокая светочувствительность; что особенно важно при недостатке световой энергии в схеме, например, при контроле оптических поверхностей без зеркального покрытия.

Полученные в результате проведения исследований картины Ронки могут быть обработаны и проанализированы с помощью созданной на кафедре ПиКО аспирантом Ле Зуй Туаном под руководством профессора В.К.Кирилловского программы «Tiger». Главная особенность этой программы состоит в том, что она может обрабатывать не только классические интерферограммы, но и картины полос Ронки, по сути являющиеся интерферограммами сдвига, методом обработки двух интерферограмм, полученных с применением направления сдвига последовательно по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

### **Заключение**

Компьютеризированный метод Ронки позволил создать количественный теневой метод на основе решеток Ронки, основными достоинствами которого является простота, возможность работы с применением излучения белого источника, возможность работы на любой выделенной длине волны, а также полная нечувствительность к вибрациям, в отличие от подавляющего большинства других интерферометров.

Метод изофотометрии разработан и применяется в оптических исследованиях уже давно. Диапазон регистрации освещенности по методу изофотометрии выше  $10^4 \div 10^5$ , что позволяет получить ЧКХ с погрешностью меньше 5%. Однако метод фотографической изофотометрии требует сложных процессов обработки изображения,

занимающих много времени. Метод компьютерной изофотометрии позволяет разрабатывать новое поколение установок с такими достоинствами, как: простота, высокая скорость (работа в реальном времени) и высокая точность (погрешность меньше 5%).

Полученные в результате проведения исследований картины Ронки могут быть обработаны и проанализированы с помощью созданной на кафедре ПиКО аспирантом Ле Зуй Туаном под руководством профессора В.К.Кирилловского программы «Tiger», главной особенностью которой является то, что она может обрабатывать не только классические интерферограммы, но и интерферограммы сдвига (к которым относятся и картины полос Ронки) методом обработки двух сдвиговых интерферограмм, полученных с применением направления сдвига последовательно по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Программа «Tiger» дает возможность получения информации об ошибках волнового фронта, а также возможность определения характеристик качества изображения.

Таким образом, теневые методы являются привлекательным объектом для дальнейших научных исследований с целью их совершенствования на основе современных научно-технических достижений.

### Литература

1. Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения: Учебник для вузов по специальностям «Оптико-электронные приборы» и «Технология оптического приборостроения»/ Под общ. Ред. Д.Т. Пуряева. – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
2. Кирилловский В.К. Современные оптические исследования и измерения: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань». – 304 с.: ил.
3. Максудов Д.Д. Изготовление и исследование астрономической оптики. – М.: Наука, 1984.
4. Оптический производственный контроль / Под ред. Д. Малакары. – М., Машиностроение, 1985. – 400 с.
5. Ронки В. Испытание оптических систем. – М.-Л.:Гостехиздат, 1933.
6. В.К. Кирилловский В.К., Ле Зуй Туан. Оптические измерения. Часть 6. Инновационные направления в оптических измерениях и исследованиях оптических систем. – СПбГУ ИТМО. 2008. – 131 с.

УДК 531.7.08:535.42/.44

## ДИФРАКЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

А.Н. Иванов, М.Д. Носова

Описана функциональная схема и принцип работы дифракционного измерителя угловых перемещений на основе двойной дифракции на щели. Приведены результаты математического моделирования измерителя и рассчитаны его параметры. Представлен макет измерителя и результаты проведенного эксперимента.

**Ключевые слова:** дифракция, дифракционные измерения/

### Введение

Развитие современных технологий требует значительного увеличения точности при измерениях малых линейных и угловых перемещений. Как показывает практика, для измерения малых угловых перемещений наиболее подходят оптические методы, которые являются бесконтактными, обладают высокой чувствительностью, точностью и скоростью измерений. В их основе лежат явления автоколлимации, интерференции и

дифракции. В настоящее время одним из наиболее используемых угловых измерителей является цифровой автоколлиматор [1]. Современные автоколлиматоры имеют погрешность 0.5–2 угл. сек. при диапазоне измерений порядка 1–10 угл. мин. Еще более высокую точность имеют интерференционные автоколлиматоры [2] – их погрешность не превышает 0.1–0.5 угл. сек. Недостатком указанных устройств являются большие габариты, сложность конструкции и жесткие допуски на ряд их узлов. Более простыми являются методы дифракционных угловых измерений на основе сопряжения дифракционных решеток [3].

Поэтому в качестве альтернативы был выбран метод измерения угловых перемещений на основе двойной дифракции на щели [4]. Основными достоинствами данного метода являются простота схем его реализации, малые габариты, высокая точность измерений, которая достигается за счет работы с Фурье-спектром объекта.

### Принцип работы дифракционного измерителя

Метод двойной дифракции основан на том, что можно с высокой точностью определить положение точки минимума дифракционной картины от щели, пользуясь тем, что в ней происходит изменение знака фазы сигнала. Если совместить с точкой минимума центр второй щели, то в дифракционной картине Френеля за ней возникает характерное распределение интенсивности, по которому можно оценить величину несовпадения центра щели с точкой минимума [4].

Данный метод позволяет построить схему углового измерителя следующим образом (рис. 1). При прохождении лазерного пучка через щель 1 шириной  $a$  излучение дифрагирует и, отражаясь от зеркала 2, формирует в плоскости щели 1 дифракционную картину Фраунгофера ( $a \ll 2l$ ). Если излучение направлено на щель под углом  $\varphi = \arctan(N\lambda/a)$ , где  $N$  – номер минимума и  $\lambda$  – длина волны излучения, то с центром щели совпадет минимум порядка  $N$ . При развороте зеркала на угол  $\alpha$  минимум сместится в плоскости щели  $x$  на

$$\varepsilon = l(\tan(\varphi + 2\alpha) - \tan(\varphi)) \approx 2l\varphi \quad (1)$$

Распределение амплитуды в плоскости щели описывается выражением

$$U(x) = \text{sinc}(kax/4l), \quad (2)$$

тогда в окрестности минимума, где  $U(x) = 0$ , можно, разложив выражение (2) в ряд Тейлора, получить в первом приближении зависимость

$$U(x) = ax/2Nl.$$

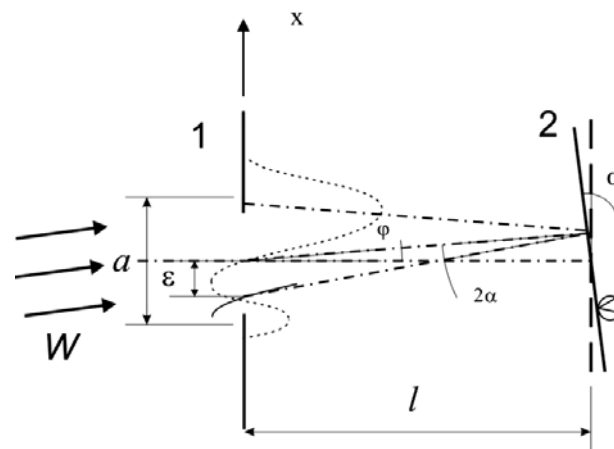


Рис. 1. Формирование входного сигнала на дифракционном измерителе

Тогда распределение интенсивности на приемнике, установленном за щелью в области дифракции Френеля, может быть определено из выражений

$$I(x_1) = U(x_1)\overline{U(x_1)},$$

$$U(x_1) = \left(\exp(ikz)/\sqrt{i\lambda z}\right)^{a/2} \int_{-a/2}^{a/2} U(x) \exp((ik(x_1 - x)^2/2z) dx, \quad (3)$$

где  $\overline{U(x_1)}$  – комплексно-сопряженная функция,  $z$  – расстояние до приемника. При смещении точки минимума относительно щели выражение (3) принимает вид

$$U(x_1) = \left(\exp(ikz)/\sqrt{i\lambda z}\right)^{a/2} \int_{-a/2}^{a/2} U(x + \varepsilon) \exp((ik(x_1 - x)^2/2z) dx, \quad (4)$$

и в дифракционной картине происходит перераспределение интенсивности сигнала в ее главных максимумах (рис.2). По разности интенсивности можно определить смещение  $\varepsilon$ , так как  $\Delta I = (I_2 - I_1)/I_0 = f(\varepsilon)$ .

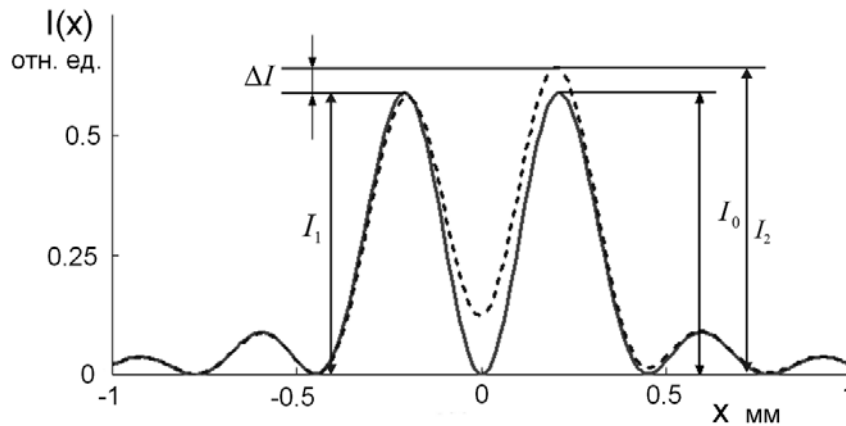


Рис. 2. Распределение интенсивности выходного сигнала на приемнике

### Результаты математического моделирования работы измерителя и эксперимента

Было проведено моделирование работы измерителя с параметрами:  $a = 0.1$  мм,  $\lambda = 0.632$  мкм,  $l = 50$  мм при различных значениях  $z$ . Была получена зависимость линейной чувствительности измерителя от  $z$   $\Psi(z) = \delta(\Delta I(\varepsilon, z))/\delta\varepsilon$  (рис. 3), согласно которой желательнее выбирать расстояние  $z$  до приемника как можно меньше. Линейная область работы измерителя оказалась в пределах  $\pm a/4 = 0.025$  мм, угловая  $\pm a/8l = \pm 2.5 \times 10^{-4} \approx \pm 50$  угл. сек. При  $z = 20$  мм чувствительность  $\Psi = 26.5$ , и тогда при разрешении приемника  $\Delta I = 0.002$  угловая чувствительность измерителя составляет  $\Delta\alpha = \Delta I/2\Psi l = 0.75 \times 10^{-6} = 0.15$  угл. сек.

Предельную погрешность измерителя можно оценить по формуле

$$\delta\alpha/\alpha = \delta\Delta I/\Delta I + \delta\Psi/\Psi + \delta l/l, \quad (5)$$

где, принимая  $\delta\Delta I = 0.01$ ,  $\delta\Psi = 0.05$ ,  $\delta l = 0.05$  мм, получаем  $\delta\alpha = 1.2$  угл. сек., причем основной вклад вносит погрешность измерения разности интенсивностей в максимумах приемником.

Для экспериментальной проверки принципа работы дифракционного измерителя была собрана установка, изображенная на рис. 4 с параметрами  $l = 60$  мм,  $a = 0.2$  мм,  $z = 60$  мм,  $\lambda = 0.532$  мкм. Большие расстояния  $l$  и  $z$  объясняются тем, что из-за формы



кареток оптические элементы схемы невозможно разместить ближе. В качестве приемника использовалось ПЗС-камера ЭВС VEI-535 с разрешением 1280×960 пикс. Численная модель дифракционной картины при смещения  $\varepsilon = 0$  и экспериментально полученная дифракционная картина приведены на рис. 5, а, и рис. 5, б.

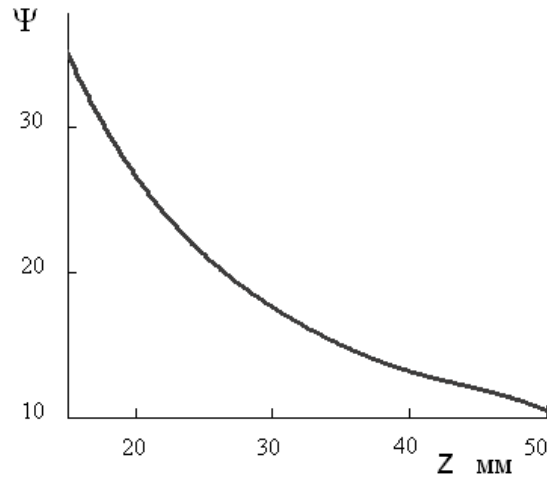


Рис. 3. Зависимость чувствительности приемника от расстояния от щели до приемника

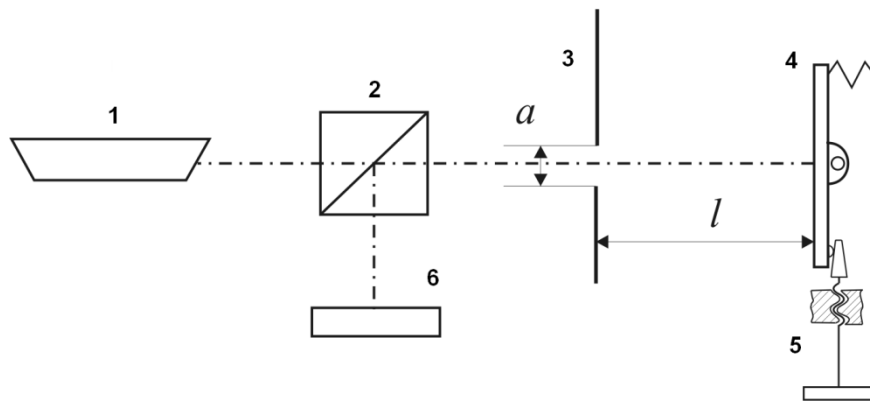


Рис.4. Схема экспериментальной установки: 1 – лазер КЛМ-532; 2 – светоделительный кубик; 3 – спектральная щель; 4 – зеркало; 5 – привод зеркала; 6 – цифровая камера

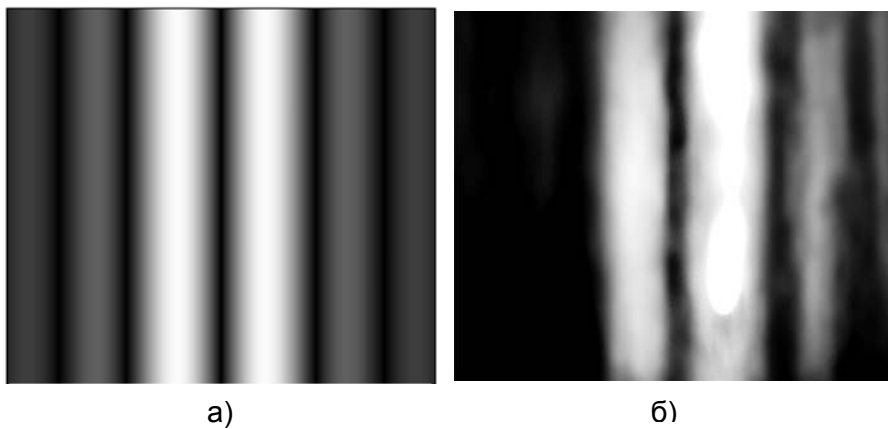


Рис. 5. а) численная модель дифракционной картины; б) экспериментальная дифракционная картина

### Заключение

Рассмотрен дифракционный метод измерения угловых перемещений, основанный на двойной дифракции. За счет этого удалось повысить точность и чувствительность угловых измерений без излишнего усложнения измерительной схемы. Изменяя ширину щели  $a$ , расстояния  $l$  и  $z$ , можно в широких пределах менять чувствительность и диапазон измерения. К недостаткам предложенного метода можно отнести необходимость точно знать расстояние  $l$  до измеряемого объекта, поэтому в будущем предлагается в качестве измерителя использовать плоскопараллельную пластину, на одну сторону которой наносится отражающее покрытие, а на другую – щель. Так как толщину пластины можно выдержать с высокой точностью, то этот недостаток будет не принципиальным. Такую пластину можно будет наклеивать на объект, угловое положение которого необходимо измерить.

### Литература

1. Высокоточные угловые измерители. Под редакцией Якушенкова Ю.Г. – М: Машиностроение. 1987. – 480 с.;
2. Коронкевич В.П., Ханов В.А. Современные лазерные интерферометры. – Новосибирск: Наука, 1985. – 184 с.;
3. Комоцкий В.А., Корольков В.И., Соколов Ю.М. Оптоэлектронные дифракционные датчики малых угловых перемещений. // Фотоника. – 2011. – Т.25. – №1. – с. 16–19;
4. Назаров В.Н., Линьков А.Е. Дифракционные методы контроля геометрических параметров и пространственного положения объектов. // Оптический журнал. – 2002. – Т.69. – №2. – с. 76–81.

УДК 681.785.574

## СЕНСОР КОНЦЕНТРАЦИИ CO<sub>2</sub> В АТМОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРА

А.Л Итин, А.В. Демин, Ю.Л. Колесников

Описывается сенсор для определения концентрации углекислого газа в атмосфере, основанный на работе статического фурье-спектрометра. Описаны принцип работы и характеристики предлагаемого устройства.

**Ключевые слова:** сенсор, углекислый газ, статический фурье-спектрометр

В настоящее время измерение концентраций газов является одной из ключевых областей в промышленности и бытовой деятельности. В последнее десятилетие обнаружение и мониторинг газов стали особенно широко развиваться вследствие необходимости защиты окружающей природы. Газовые датчики находят применение в различных областях.

Датчики делят на две группы – для определения одиночных газов (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, и т.д.) и для выделения каких-то определенных запахов или вообще наблюдения за изменениями в окружающей среде. Датчики для определения одиночных газов используются в качестве пожарных извещателей, контроллеров вентиляции в поездах и самолетах, устройствах предупреждения превышения концентрации предельно допустимых концентраций газов на рабочих местах, датчиках утечки газов [1].

Наиболее распространенным для анализа концентраций  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$  в составе многокомпонентных газовых смесей является метод ИК-спектроскопии. Наличие узких селективных полос поглощения разной интенсивности в ИК-области спектра, характерных для каждого анализируемого компонента, позволяет выбирать оптимальные условия измерения, а также разработать оптические сенсоры для приборов газового анализа с высокими селективными возможностями. [2]

Используя излучение конкретной длины волны, можно определить концентрацию соответствующего компонента с высокой точностью, так как применяется явление избирательного поглощения многоатомными молекулами излучения при его прохождении сквозь среду. Избирательное поглощение объясняется тем, что оно происходит на тех волнах, частота которых является резонансной для соответствующих молекул.

Такие устройства обнаружения и измерения концентрации газов, работающие в диапазоне 2–15 мкм, реализуется в основном в газоанализаторах, относящихся к портативным. Такие сенсоры превосходят по своим возможностям электрохимические и каталитические методы, обеспечивая высокое быстродействие, селективность, устойчивость к агрессивным средам, продолжительный срок службы [3].

В литературе широко описано преимущество использования сенсоров, основанных на работе фурье-спектрометров. Выделяют два типа фурье-спектрометров, значительно отличающихся друг от друга по исполнению и предельным возможностям: динамический фурье-спектрометр (ДФС) – интерферометр, в котором один из двухотражателей подвижен (в качестве отражателя может быть применено, например, зеркало), и статический (СФС) – интерферометр с неподвижными отражателями.

Ввиду отсутствия подвижных элементов в устройстве СФС данный спектрометр является более надежным в эксплуатации. СФС используют пространственное расположение интерферограммы, фокусируемой на фотоприемник. При использовании матричного фотоприемника возможна максимально быстрая регистрация, ограничивающаяся только быстродействием, конструктивными особенностями приемника и величиной регистрируемого сигнала. Спектральное разрешение таких датчиков ограничивается числом пикселей  $N$  линейки приемников, где происходит фиксация. Как правило, относительное спектрально-разрешение не может превышать значения  $N/2$ . Требуемое число разрешаемых спектральных интервалов в большинстве систем для анализа газового состава среды лежит в пределах 200–400, что легко может быть достигнуто с помощью СФС. В данной работе использовался СФС, оптическая схема которого представлена на рис. 1 [4].

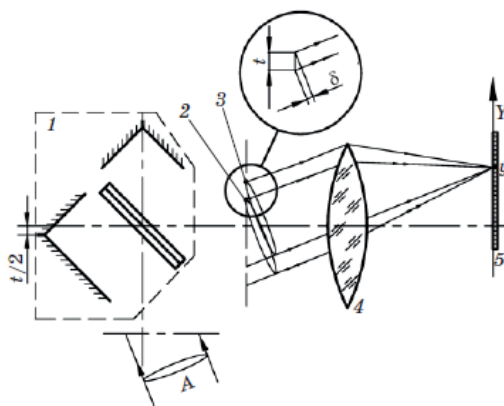


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема статического фурье-спектрометра, выполненная на основе интерферометра Майкельсона. 1 – интерферометр Майкельсона, 2 и 3 – волновые фронты, 4 – объектив. 5 – линейка приемников

В оптической схеме интерферометр Майкельсона в СФС использован с «крышеобразными» концевыми отражателями, смещенными относительно друг друга на  $t/2$ . Луч света, сформированный регистрируемым объектом (волновой фронт А), попадает на светоделитель и делится на два пучка одинаковой интенсивности. Отразившись от зеркальных (типа призма-крыша) отражателей, смещенных относительно друг друга на  $t/2$ , эти пучки вновь совмещаются светоделителем, формируя два плоских параллельных между собой волновых фронта 2 и 3, сдвинутых относительно друг друга на  $t$ . Фронт 2 и 3, интерферируя между собой, формируют вблизи фокальной плоскости объектива 4 интерференционную картину.

Один из основных показателей, определяющих режим работы сенсора, – длина волны излучения. На основе значения длины волны подбирается необходимый источник и приемник излучения. Длина волны для данного сенсора подбиралась в соответствии с графиком инфракрасного спектра поглощения  $\text{CO}_2$ . Диапазон длин волн выбран согласно максимальному значению коэффициента поглощения. Для получения точных значений были использованы таблицы международной базы данных HITRAN (High-resolution TRANsmission molecular absorption database), согласно которым  $\lambda_1=1,58\text{мкм}$ ,  $\lambda_2=4,3\text{мкм}$ ,  $\lambda_3=2,7\text{мкм}$ [5]. Оптическая схема СФС построена в виде двух каналов с независимыми оптическими системами, базовой работающей в спектральном диапазоне: 2,5–5,0 мкм и проверочного в диапазоне 1,0–2,3 мкм.

В обеих системах используется линзовый объектив, в качестве приемника предлагается матрицы HynixSemiconductor YACBAA0S 640×480 с размерами элементов 2,25×2,25мкм. Для проверочной системы максимальная разность хода  $\delta_{\text{max}}=240\text{мкм}$ , эквивалентное фокусное расстояние 5 мм, при значении  $t=1\text{мм}$ , число регистрируемых спектральных интервалов  $M=270$ . Для базовой системы максимальная разность хода  $\delta_{\text{max}}=600\text{мкм}$ , эквивалентное фокусное расстояние 2 мм, при значении  $t=1\text{мм}$ , число регистрируемых спектральных интервалов  $M=240$ .

Конструктивно каждый модуль состоит из следующих основных частей: интерферометра, объектива, узла фотоприемника и бленды для защиты аппаратуры от попадания на фотоприемное устройство прямых солнечных лучей. Собственно интерферометр (рис. 2) состоит из полупрозрачной пластины 1 и двух отражателей 2 и 3 (каждый из отражателей – это призма-крышати́па БР-180°), расположенных относительно оптической оси системы так, чтобы образовать требуемый сдвиг  $t$  интерферирующих пучков.

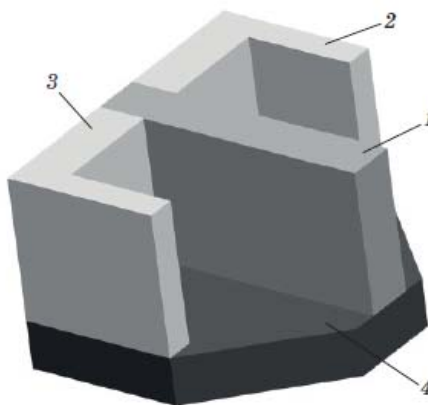


Рис.2. Общий вид интерферометра сдвига на основе интерферометра Майкельсона

Полупрозрачная пластина и отражатели прикреплены к общему основанию 4, изготовленному из материала с коэффициентом линейного расширения, близким к коэффициенту линейного расширения материала полупрозрачной пластины и отражателей. Объектив, как и фотоприемное устройство, крепится к задней стенке

корпуса (см. рис. 1), что обеспечивает стабильность их взаимного положения. Следовательно, при использовании статического фурье-спектрометра, имеющего входное окно размером 40×40 мм, практически во всех спектральных диапазонах можно получить удовлетворительное отношение сигнал/шум всех исследуемых сцен и достаточное количество разрешаемых спектральных интервалов, которое определяется числом строк применяемой фотоприемной матрицы.

### Литература

1. S. Capone, A. Forleo, L. Francioso, R. Rella, P. Siciliano, J. Spadavecchia, D. S. Presicce, A. M. Taurino // *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* Vol. 5, No. 5, 2003, p. 1335 – 1348
2. Кабацкий В.Н. Оптические сенсоры газов на основе полупроводниковых источников ИК-излучения // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, №4, 2008. – С. 30–35.
3. Александров С.Е., Гаврилов Г.А., Капралов А.А., Матвеев Б.А., Сотникова Г.Ю., Ременный М.А. Моделирование характеристик оптических газовых сенсоров на основе диодных оптопар среднего ИК-диапазона спектра // *Журнал технической физики*, т.79 вып.6, 2009. – 112-118 с.
4. Горбунов Г.Г., Демин А.В., Никифоров В.О., Савицкий А.М., Скворцов Ю.С., Сокольский М.Н., Трегуб В.П. Гиперспектральная аппаратура для дистанционного зондирования Земли // *Оптический журнал*, т.76 вып.10, 2009. – С. 75–81
5. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics // HITRAN on the Web - 09.01.2012. [Electronic database]. - <http://hitran.iaa.ru/>

УДК 681.78

## ПРОХОДНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛАЗЕРОВ

Г.Г. Ишанин, Е.И. Шевнина, А.Н. Тихонов

В статье приводится описание принципа работы проходных измерителей средней мощности с временным ответвлением, особенности их структуры при использовании приемника излучения на термоупругом эффекте в кристаллическом кварце и методика разработки его оптической схемы.

**Ключевые слова:** проходной измеритель, ответвитель потока излучения, приемник на термоупругом эффекте в кристаллическом кварце.

Лазерная технология внедряется в различные производства, улучшая при этом качество продукции и производительность. Для эффективного использования лазерной техники и технологии необходимо развитое метрологическое обеспечение, в частности, проходные измерители средней мощности потока лазерного излучения. Необходимость в проходных измерителях средней мощности объясняется двумя моментами. Это использование их в системах контроля и стабилизации энергетических параметров технологических лазерных установок и передача адаптированной лазерной технологии с одной установки на другую. Мощность излучения технологических лазеров варьируется в широком диапазоне от единиц ватт до десятков киловатт. Естественно, что достаточно часто встает задача обеспечения лучевой прочности элементов конструкции и стабильности свойств измерительного устройства.

В проходных измерительных системах для генерации контрольного сигнала расходуется малая и четко дозируемая часть энергии лазерного потока излучения. В настоящее время существует огромное разнообразие лазерных систем, различающихся по мощности, длине волны, режиму работы и назначению. В связи с этим для

построения проходных измерительных систем используются различные принципы и физические явления.

Достаточно часто для ответвления контрольного пучка излучения используется принцип периодического сканирования поперечного сечения лазерного пучка узким ответвляющим зеркалом. Основным достоинством таких систем является возможность работы при больших плотностях потока излучения и независимость коэффициента ответвления от рабочей длины волны излучения лазера. Если эффективная ширина сканирующего зеркала мала по сравнению с сечением пучка, то паразитная модуляция излучения не приведет к нарушениям технологического процесса.

В качестве приемников излучения в проходных измерителях такого типа обычно используются инерционные приемники излучения типа калориметров. Это позволяет производить осреднение энергии отдельных сканов за счет реакции приемника излучения. Однако вся измерительная система получается очень инерционной.

Приемник излучения на термоупругом эффекте в кристаллическом кварце обладает долговременной стабильностью чувствительности при относительно небольшой зависимости ее от длины волны. Большой диапазон линейности энергетической характеристики этого приемника позволяет использовать его в составе проходного измерителя средней мощности лазерного излучения.

Использование достаточно быстродействующего приемника излучения в составе измерителя позволяет достичь большего быстродействия измерительного устройства. При работе с непрерывным лазерным излучением каждый отдельный скан ответвителя можно рассматривать как отдельное независимое измерение. Частоту сканирования или частоту ответвления можно легко довести до 10–15 Гц., что и будет определять быстродействие измерительного устройства. Естественно, что система выделения и преобразования сигнала существенно усложнится. На рис. 1. приведена структурная схема проходного измерителя средней мощности излучения лазера.

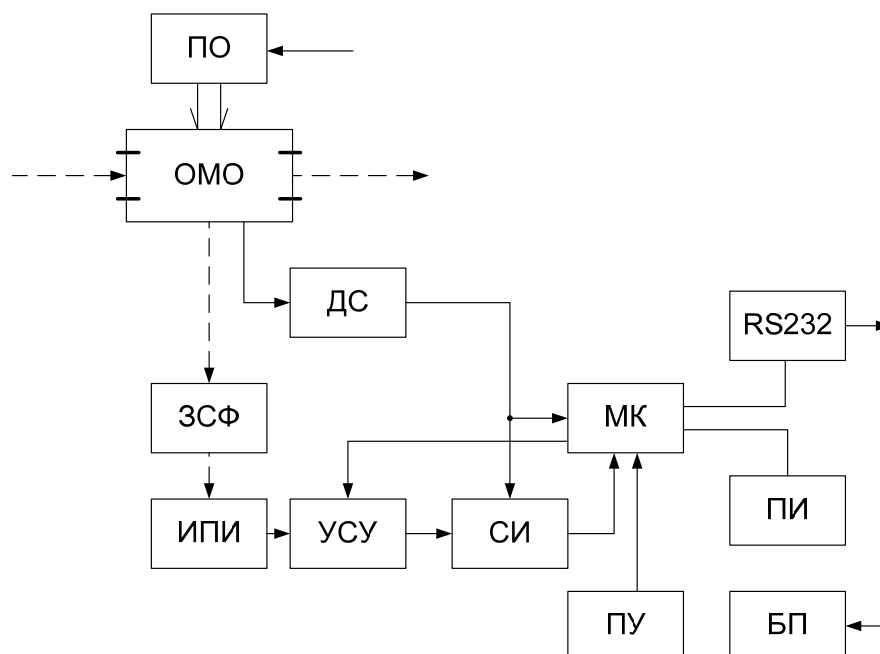


Рис.1. Структурная схема проходного измерителя: ОМО – оптико-механический ответвитель, ПО – привод ответвителя, ДС – датчик синхронизации, ЗСФ – зеркальный согласующий фокус, ИПИ – измерительный приемник излучения, УСУ – управляемый согласующий усилитель, СИ – синхронный интегратор, МК – микроконвертор, ПУ – панель управления, ПИ – панель индикации, RS-232 – система связи с внешними устройствами, БП – блок питания

Излучение технологического лазера приходит на входное окно оптико-механического ответвителя и через его выходное окно направляется для исполнения технологического процесса. Благодаря действию сканирующего зеркала, которое приводится во вращение приводом ответвителя, на втором выходе оптико-механического ответвителя возникают периодические импульсы излучения. Эти импульсы направляются на вход зеркально согласующего фокона и далее на вход измерительного приемника излучения. Импульсы излучения, несущие информацию о мощности излучения технологического лазера, в измерительном приемнике излучения преобразуются в импульсы электрического сигнала, которые после усиления поступают на вход синхронного интегратора. В звене синхронного интегратора происходит выделение полезного сигнала – сигнала энергии импульса излучения на выходе ответвителя. Для подавления влияния различных помех синхронный интегратор переходит в активный режим только под действием сигнала от датчика синхронизации. Микроконвертор МК производит обработку информации и с помощью звена RS-232 передает значение средней мощности на внешние устройства. Дополнительно значение средней мощности выводится на встроенную панель индикации. С помощью панели управления устанавливаются значения чувствительности и времени осреднения текущего значения мощности потока.

Обычно при создании кинематической схемы временного ответвителя используется вращательное движение, что обеспечивает относительную простоту конструкции. Кроме того, при выборе реальной схемы временного ответвителя должен учитываться его основной недостаток – вибрации, вносимые механизмом ответвителя из-за статической и динамической неуравновешенности конструкции. Для уменьшения этих вибраций необходимо уменьшить скорость вращения ротора, использовать демпфирующие звенья в кинематической схеме и обеспечить механическую жесткость всей конструкции.

Ширина лопасти контрольного канала определяется заданным коэффициентом ответвления, равным  $K_{от}=0,003$ . Эффективный угловой размер лопасти может быть найден из соотношения

$$\alpha_1 = 360^\circ \cdot K_{от} = 1,08^\circ. \quad (1)$$

Ввиду того, что лопасть ответвителя наклонена к оси пучка на угол  $45^\circ$ , угловой размер  $1,08^\circ$  соответствует угловому размеру проекции лопасти ответвителя на плоскость перпендикулярную оси пучка (рис. 2.).

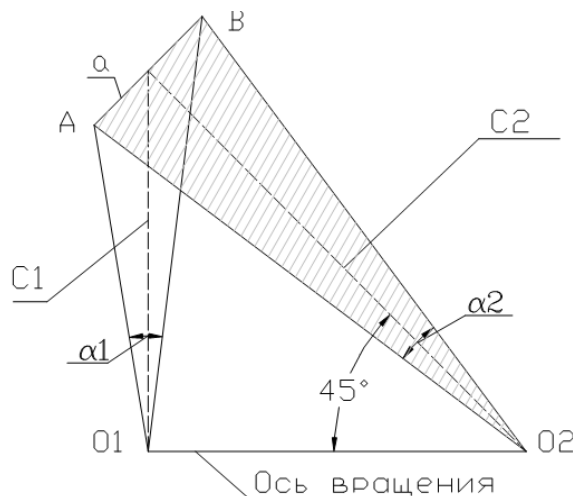


Рис.2. Геометрические соотношения ответвляющего зеркала

Рассчитаем размер лопасти (условно треугольник  $ABO_2$ ). Проекция лопасти в плоскость, перпендикулярную оси пучка – условно треугольник  $ABO_1$  (рис. 2.). Так как угол проекции лопасти в плоскость, перпендикулярную оси пучка  $\alpha_1=1,08^\circ$ , а из конструктивных соображений имеем расстояние от оси вращения лопасти до верхнего среза пучка  $O_1A=C_1=67\text{мм}$ , то на верхнем срезе пучка ширина лопасти составит

$$a = 2 \cdot C_1 \cdot \text{tg}(\alpha_1/2) = 2 \cdot 67 \cdot \text{tg}(0,54) = 1,26. \quad (2)$$

Зная ширину лопасти на верхнем срезе пучка и угол наклона лопасти к оси распространения излучения, который составляет  $45^\circ$ , рассчитаем угол при вершине самой лопасти  $\alpha_2$ . Из треугольников  $ABO_1$  и  $ABO_2$  (рис. 2) имеем следующее соотношение:

$$C_2 = \frac{C_1}{\text{Sin}45^\circ} = 94,45 \quad (3)$$

$$\alpha_2 = 2 \text{arctg} \frac{a}{2C_2} = 0,85^\circ \quad (4)$$

Таким образом, мы получили размеры ответвляющей лопасти, для которой угол при вершине составляет  $0,85^\circ$ , а линейный размер на верхнем срезе пучка излучения составляет 1,26 мм.

Излучение после ответвителя потока, прежде чем попасть на приемник, проходит через согласующее звено. Назначение этого звена – подавить горячие точки в сечении пучка лазерного излучения, если они возникают, и ослабить остаточную неравномерность чувствительности приемника по его приемной площадке. Это звено выполняется в виде зеркального фокона с диффузными ожающими поверхностями.

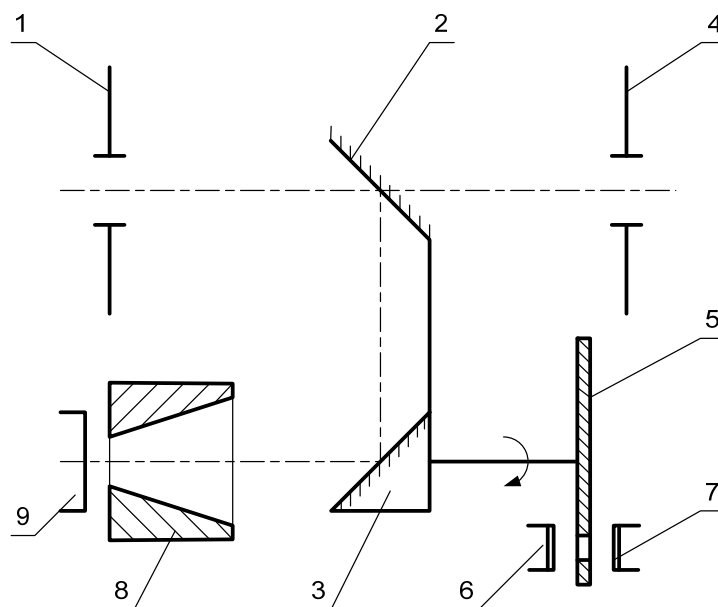


Рис. 3. Оптическая схема проходного измерителя средней мощности излучения лазера

Оптическая схема измерителя приведена на рис. 3. Излучение поступает в прибор через входное окно 1. Поток излучения сканируется временным ответвителем, состоящим из двух отражателей 2 и 3, которые жестко связаны между собой и вращаются на одной оси. Для увеличения лучевой и химической стойкости отражателей их поверхности имеют Ni покрытие. Покрытия зеркальной пленкой Ni обладают высокой химической и лучевой стойкостью. Основной поток поступает в



рабочую систему через выходное окно 4. Ответвленный пучок после прохождения зеркального согласующего фокона 8 поступает на приемник излучения 9.

Разработанная оптическая схема была реализована в конструкции проходного измерителя средней мощности лазерного излучения с диаметром пучка 20 мм и максимальной средней мощностью до 1000 Вт. Частота сканирования равна 10 Гц., что позволило обеспечить быстроедействие измерительной системы 0,2–1,0 с.

### Литература

1. Ишанин Г.Г., Козлов В.В. Источники оптического излучения. – СПб: Политехника, 2009. – 415 с.
2. Абильситов Г.А. Технологические лазеры. –М.: Машиностроение, 1991. – 432 с.
3. Отчет по НИР № 85-027 с ИОФ АН СССР. Исследования по созданию проходных измерителей средней мощности лазерных технологических установок. – Л: ИТМО, каф.ОЭП. Целевая программа АН СССР.

УДК 339.3 (075/8)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТЕМНОГО ШОКОЛАДА ЭКСПЕРТНЫМ МЕТОДОМ

Е.Ю. Пятковская, Т.А. Карашук

В статье рассматривается оценка качества шоколада по органолептическим показателям с помощью 100-балльной шкалы экспертным методом.

**Ключевые слова:** органолептические показатели, экспертный метод, балльная оценка, коэффициент весомости.

Развитие рынка шоколада в последние годы характеризуется быстрыми темпами. По данным Всероссийского центра изучения общественного мнения, 79% россиян регулярно употребляют шоколад. Среднедушевое потребление шоколада в России составляет в среднем 4–5 кг, что составляет лишь 50% от объемов потребления в странах Евросоюза, поэтому эксперты прогнозируют дальнейший рост рынка изделий из шоколада.

Объем импорта шоколада и изделий из него по оценке ID-Marketing составляет около 94 тыс. тонн или от 10 до 15% рынка шоколадных изделий, но имеет тенденцию к увеличению. Главными импортерами являются такие страны как Украина, Германия, Польша, Италия, Франция, Швейцария, Бельгия. Создание Таможенного союза России, Белоруссии и Казахстана привело к тому, что в настоящее время производители шоколада из Белоруссии начали активную экспансию на российский рынок, стремясь занять низкий ценовой сегмент. Эти факты свидетельствуют об актуальности темы исследования: оценке качества шоколада по органолептическим показателям.

Понятие качество в МС ИСО 8402: 1994 определено так: «Качество – совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворить установленные и предполагаемые потребности». При оценке качества пищевых продуктов, в том числе шоколада, определяют показатели качества и устанавливают соответствие их требованиям нормативных документов.

Наиболее часто применяют органолептический метод определения и анализа показателей качества. Под органолептическим методом понимают метод определения качества продукта, осуществляемый на основе анализа восприятия чувств человека. В оценке качества участвуют не только органы чувств, но и мыслительный аппарат, в котором впечатления перерабатываются, анализируются и интегрируются [1].

С помощью этого метода устанавливают внешний вид, запах, вкус и консистенцию продукта. Если этот метод применяется строго профессионально, систематично и вполне ответственно, то он находится на уровне научного и практически объективного метода.

Для проведения органолептического анализа на современном уровне необходимо выполнение основных принципов экспертной методологии и применение квалиметрии для количественного измерения качественных признаков продукта. При подборе метода дегустационной оценки предпочтение отдается балльным системам при обязательном дифференцировании качественных признаков по значимости при составлении общего впечатления о качестве исследуемого продукта. Наиболее широко применяются пятибалльные шкалы с использованием коэффициентов весомости показателей [2,3].

Нами была разработана 100-балльная шкала для органолептической оценки качества исследуемых образцов шоколада. Подробная словесная характеристика качественных уровней показателей была помещена в таблицу 1. Основой этих характеристик являлся ГОСТ Р 52821-2007 «Шоколад. Общие технические условия».

Единичные показатели	Словесная характеристика качества	Баллы
Внешний вид	Поверхность ровная или волнистая, с рисунком или без него, с ярко выраженным блеском.	5
	Поверхность ровная или волнистая, с рисунком или без него, блестящая.	4
	Поверхность ровная или волнистая, с рисунком или без него, матовая, наличие пузырьков на поверхности.	3
	Поверхность матовая, с наличием жирового и сахарного поседения, пятен и царапин.	2
	Поверхность матовая, с наличием жирового и сахарного поседения, пятен, царапин, повреждений шоколадной молью.	1
Форма	Соответствующая используемому оборудованию, без деформации.	5
	Наличие небольшой деформации	3
	Наличие сильной деформации, боковых сколов, растрескивания.	1
Вкус и запах	Выраженные, гармоничные с долгим послевкусием	5
	Выраженный, приятный	4
	Слабо выраженные, наличие чрезмерно сладкого вкуса или жженого, горелого привкуса.	3
	Наличие несвойственных, синтетических привкусов и запахов.	2
	Наличие лежалого, салистого привкуса и запаха	1
Консистенция	Твердая, при надломе слышен отчетливый звук	5
	Твердая, при надломе звук не слышен	3
	Слишком твердая	1
Структура	Однородная, тонкодисперсная	5
	Свойство однородности выражено слабее,	3
	Неоднородная, грубодисперсная.	1

Таблица 1. Балльная шкала для определения органолептических показателей качества шоколада

Была определена значимость (весомость) отдельных показателей качества при оценке образцов (таблица 2). Коэффициенты весомости были определены по формуле

$$K_i = \frac{a_{im}}{a_m}, \quad (1)$$

где  $K_i$  – коэффициент весомости  $i$ -того показателя;  $a_{im}$  – максимальное число баллов, отводимое на оценку  $i$ -того показателя в 100-балльной шкале;  $a_m$  – максимально разрешенный балл в пятибалльной шкале. Средний оценочный балл по каждому показателю был определен следующим образом

$$A_i = \frac{\sum a_i}{m}, \quad (2)$$

где  $A_i$  – средний оценочный балл по каждому показателю;  $\sum a_i$  – сумма баллов по  $i$ -тому показателю качества;  $m$  – число дегустаторов.

Комплексные показатели качества	Коэффициенты весомости для единичных показателей качества
Внешний вид	2
Форма	2
Вкус и запах	12
Консистенция	2
Структура	2
Сумма	20

Таблица 2. Коэффициенты весомости органолептических показателей

Общая оценка по органолептическим показателям была проведена посредством умножения среднего оценочного балла на соответствующий коэффициент весомости:

$$B_i = K_i A_i, \quad (3)$$

где  $B_i$  – комплексная оценка по  $i$ -тому показателю качества;  $K_i$  – коэффициент весомости по  $i$ -тому показателю качества;

Обобщенная оценка ( $X_y$ ) по каждому исследуемому образцу была рассчитана следующим образом:

$$X_y = \frac{\sum B_i}{\sum K_i}, \quad (4)$$

где  $X_y$  – обобщенная оценка качества  $y$ -образца шоколада;  $\sum K_i$  – сумма коэффициентов весомости.

Приведенная методика органолептической оценки дает возможность назначения объектам количественной оценки, которая является мерой выражения качественного уровня признака [1,2].

Для эксперимента были выбраны пять образцов темного шоколада иностранных брендов: образец 1 – «Alpen Gold»; образец 2 – «Dove»; образец 3 – «Dolche»; образец 4 – «Swiss»; образец 5 – «Belgian».

Согласно определению ГОСТ Р 52821-2007 «Шоколад. Общие технические условия», «темный шоколад – кондитерское изделие, получаемое на основе какао-продуктов и сахара, в составе которого не менее 40% общего сухого остатка какао-продуктов, в том числе не менее 20% масла какао.

В целях определения уровня качества темного шоколада по органолептическим показателям была проведена их балльная оценка по разработанной шкале. Органолептическая оценка образцов проводилась группой экспертов из шести человек.

Как показал визуальный осмотр упаковок, все они были без внешних дефектов, информация представлена полностью, состояние бумажной этикетки – удовлетворительное. Индивидуальные оценки дегустаторов заносились в

дегустационные листы и подвергались статистической обработке согласно формулам (1)–(4). Результаты представлены в таблице 3.

Показатели качества	Оценка по единичным показателям				
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
Внешний вид	3,48	3,71	4,32	2,97	3,90
Форма	4,51	4,56	4,62	4,0	4,27
Вкус и запах	3,30	3,75	4,27	3,15	4,25
Консистенция	4,58	4,46	4,70	3,58	4,45
Структура	4,16	4,33	4,58	4,22	4,43
Итого	4,01	4,16	4,5	3,58	4,26

Таблица 3. Результаты оценки по 5-балльной шкале

Графическое изображение результатов оценки качества темного шоколада по органолептическим показателям представлено на рис. 1.

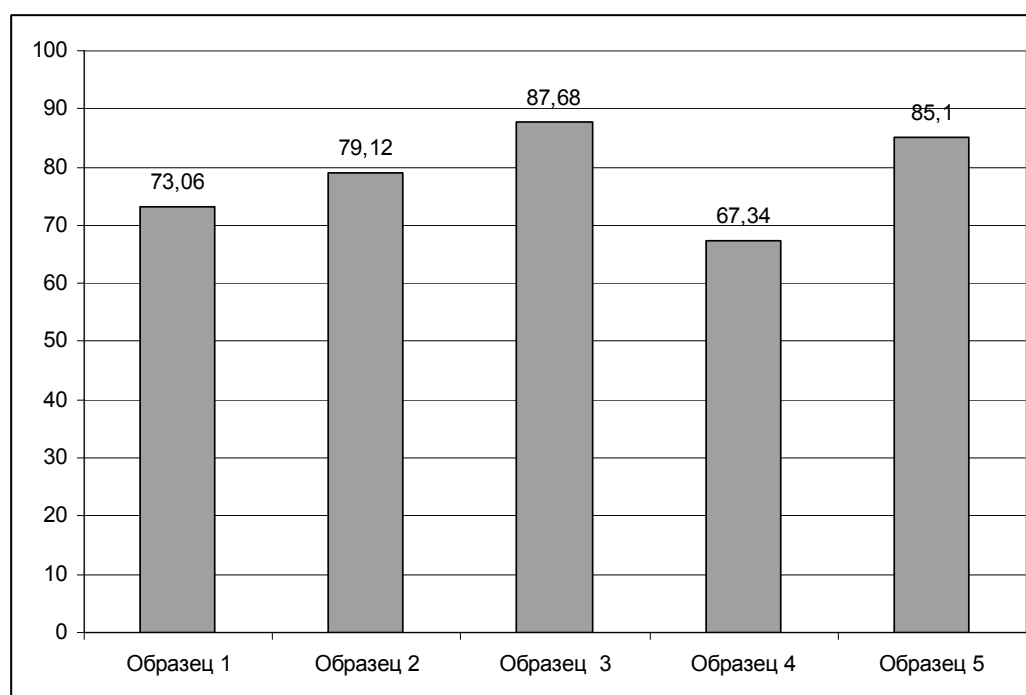


Рис. 1 Оценка качества исследуемых образцов шоколада (баллы)

Как показали результаты балльной оценки, наивысший уровень качества (87,68 балла) имеет образец 3. Этот образец отличался выраженными вкусом и ароматом, блестящей поверхностью, мелкодисперсной структурой.

Наиболее близкий к образцу 3 уровень качества имеет образец 5 – 85,10 балла. У этого образца высокие оценки экспертов по показателю «вкус и аромат», но низкие по показателю «внешний вид», из-за невыраженного блеска, и наличия шероховатостей на поверхности.

Образец 2 получил общую оценку 79,12 балла из-за наличия сколов, матовости поверхности и сладкого вкуса.

Образец 1 набрал 73,06 балла. Эксперты снизили оценки этому образцу из-за чрезмерно сладкого вкуса, невыраженного запаха и матовой поверхности.

Самую низкую оценку получил образец 4 – 67,34 балла. У этого образца было обнаружено наличие дефекта под названием «сахарное поседение», видимо связанное с нарушением условий хранения, невыраженного аромата и чрезмерно сладкого вкуса.

По результатам органолептической оценки все образцы следует отнести к первой категории качества.

### Литература

1. Вытовтов А.А. Теоретические и практические основы органолептического анализа продуктов питания. Учебное пособие. - СПб.: Гиорд, 2010.-232 с.
2. Орлов А.И. Экспертные оценки. Учебное пособие. - М.: 2002. - 31 с.
3. Николаева М.А., Положишникова М.А. Идентификация и обнаружение фальсификации продовольственных товаров. Учебник. – М.: Инфра - М, 2010. – 434 с.

УДК 004.021

## МЕТОД ПРЕДСКАЗАНИЙ В АЛГОРИТМЕ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В.Е. Кирильчук

Научный руководитель – Б.Д. Кудряшов

Работа посвящена применению метода линейных предсказаний в алгоритме сжатия изображений с использованием вейвлетного преобразования и анализу эффективности данного подхода.

**Ключевые слова:** алгоритмы, сжатие изображений, вейвлетное преобразование, метод линейных предсказаний.

Существует большое количество различных алгоритмов сжатия изображений. Достаточно эффективными являются алгоритмы сжатия изображений, основанные на так называемом методе линейных предсказаний. Еще один класс эффективных алгоритмов сжатия изображений основан на использовании вейвлетного преобразования. Однако существующие алгоритмы, использующие в своей основе вейвлетное преобразование, не используют метод предсказаний.

Задачей работы является применение метода предсказаний к коэффициентам вейвлетного преобразования и анализ полученных результатов с целью оценки преимуществ, которые способен обеспечить данный подход.

Вейвлетное преобразование, по сути, представляет собой фильтрацию изображения на низкочастотные и высокочастотные участки [1]. При этом энергия концентрируется в низкочастотных областях. В работе предлагается применять к низким частотам метод предсказаний.

Метод предсказаний заключается в том, что по уже закодированным значениям соседних точек изображения предсказывается значение текущей точки, а затем кодируется разница между предсказанием и реальным значением [2]. Полученный в результате работы алгоритм предсказания многопроходный и основан на методе наименьших квадратов, что сильно увеличивает ресурсоемкость алгоритма, однако позволяет добиться гораздо лучшего качества предсказаний.

После применения к исходному изображению вейвлетного преобразования, к его низкочастотной области применяется разработанный метод предсказаний. Примеры исходной низкочастотной области и разность между областью и ее предсказанием изображены на рис.1 и рис. 2 соответственно.

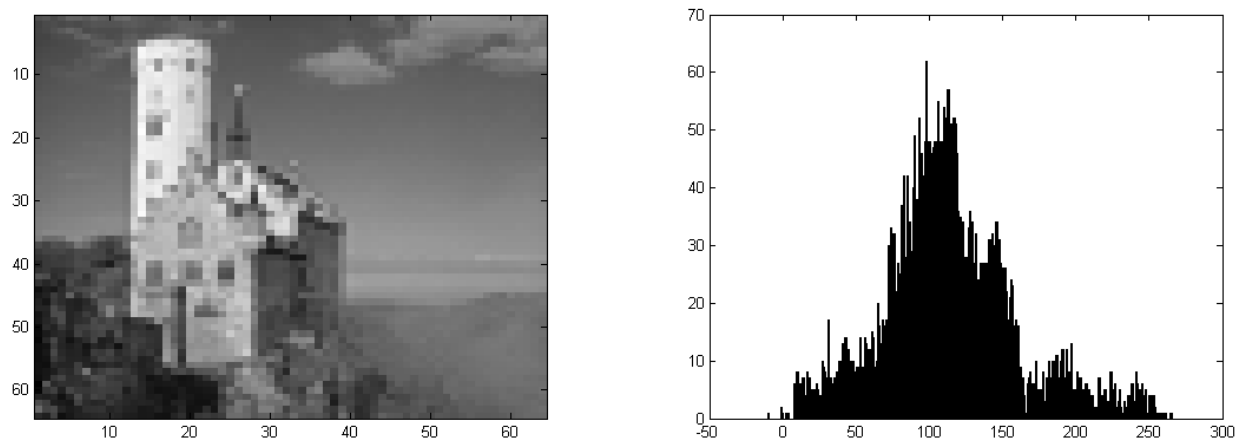


Рис. 1. Низкочастотная область и гистограмма исходного изображения

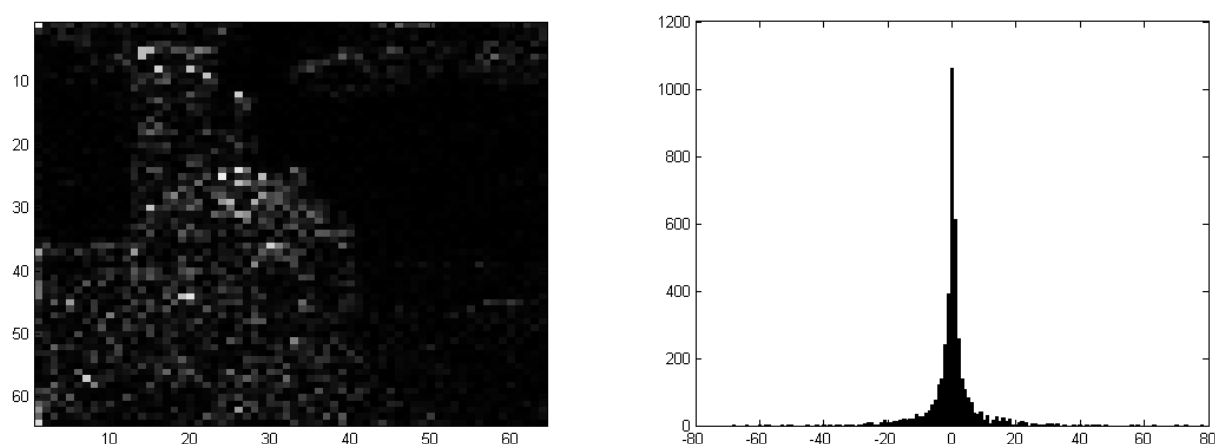


Рис. 2. Изображение и гистограмма разности предсказания и оригинала

На рисунках видно, что разработанный метод предсказания значительно уменьшает алфавит и энтропию. Информация, необходимая в декодере для восстановления исходного изображения, разность и высокочастотные области кодируются при помощи арифметического кодирования [3].

В качестве промежуточных результатов можно зафиксировать то, что для изображений, на которых проверялась работа текущей версии алгоритма (изображения размера  $512 \times 512$  в оттенках серого), степень сжатия была больше, чем в JPEG и примерно на уровне JPEG2000. Однако это еще не окончательная версия алгоритма.

Дальнейшими направлениями работы являются исследование возможности использования метода предсказаний не только для низких частот, но и для других областей, а также использование межуровневых предсказаний. После этого можно будет сделать окончательные выводы об эффективности примененного подхода.

### Литература

1. Strang G., Nguyen T., Wavelets and filter banks [Текст] /Wellesley-Cambridge Press. 1996. 485 с.
2. Vocharova I. E., Compression for multimedia [Текст] / Cambridge University Press, 2009. 265 с.
4. Кудряшов Б.Д, Теория информации[Текст] / СПб : Питер, 2009. 322 с.

УДК 339.133.017

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЫНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ПРОДУКТОВ

У.Н. Коломыйко, А.В. Виноградова

В России тема экологически безопасной (или «экологически чистой») продукции становится очень популярной. Ее обсуждают и в прессе, и в правительстве, и на различных конференциях. Многие производители пытаются использовать ее для привлечения потребителей к своей продукции, но готово ли наше население покупать ЭКО-продукт и имеет ли о нем хотя бы общее представление? Какие проблемы тормозят развитие российского рынка ЭКО-продуктов? Какие мероприятия способны изменить сложившуюся ситуацию на рынке?

**Ключевые слова:** экопродукты, рынок, экомаркировка.

Производство продуктов здорового питания и развитие сектора фермерских продуктов имеют большой потенциал роста на российском пищевом рынке. На рынок экологически чистых продуктов можно посмотреть с нескольких ракурсов: с одной стороны, рост интереса к экологически чистым продуктам имеет социальную направленность, с другой – экономическую.

Здоровый образ жизни становится популярнее с каждым днем. Все больше людей начинают чувствовать, что обычные продукты не только не приносят пользу, но и могут навредить. Огромное количество консервантов и химии, содержащихся в большинстве продуктов, могут привести к болезням, снижению иммунитета. Экологические пищевые кризисы последнего десятилетия (эпидемия коровьего бешенства, эпидемия ящура, птичий грипп, др.), а также общественные волнения по поводу вреда генно-модифицированных компонентов, содержащихся в продуктах питания, вызвали развитие интереса к экологически чистым продуктам питания.

С другой стороны, заинтересованность людей в безопасных продуктах питания – это огромное поле деятельности для предпринимателей пищевой отрасли. В сложившейся экономической ситуации одним из важных аспектов конкурентоспособности продукции на внутреннем и мировом рынке является соответствие экологическим требованиям. Можно с уверенностью сказать, что производитель, сумевший уяснить направленность потребительских предпочтений на экологически чистую и гарантированно качественную продукцию, в ближайшее время станет сильным, конкурентоспособным участником рынка.

Правительства развитых стран активно поддерживают экопроизводство, так как оно способствует укреплению внутреннего рынка, увеличению экспорта и помогает решить экономические и экологические проблемы. Сегодня 32 страны мира имеют полностью утвержденные стандарты на экологически чистую продукцию, 9 стран занимаются внедрением стандартизации, 15 стран – разработкой таких стандартов [1]. Но мировой опыт показывает, что государство поддерживает тот или иной проект только тогда, когда он начинает приносить деньги, становится частью экономики.

### Глобальный рынок ЭКО-продуктов

Оборот мирового рынка экопродуктов составляет примерно 60 млрд долларов. Причем он стремительно растет – примерно на 30% в год. Россия, по мнению специалистов, отстает от мира в сфере экопродукции лет на 15–20. По данным International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), объем российского рынка экопродуктов составляет 60–80 млн долларов, это 0,1% от всех продуктов питания [2]. На сегодняшний день большая часть экопродукции, к сожалению, является импортом.

С точки зрения размеров рынка лидерами являются Германия, Франция и Великобритания (по данным Agrarmarkt Informationsgesellschaft AMI (D)). Это более низкие темпы по сравнению с 2000–2008 годами, но на фоне глобальной экономической ситуации они весьма впечатляют. Ощутимо выросли расходы на биопродукты на душу населения в Дании, Австрии, Германии, Великобритании.

По прогнозам, в ближайшее десятилетие сегмент экологически чистой продукции сохранит высокую динамику роста во многих странах. Доля экологического производства в Европе составляет около четырех процентов сельскохозяйственных площадей – 7,39 млн га, в том числе 3 млн – биопашня и 3,2 млн – биопастбища. Самое большое количество экоплощадей в Италии (1,15 млн га), за ней следуют Испания (1 млн) и Германия (0,87 млн). [3]

Происходит и расширение ассортимента. Так, в ФРГ в 2010 году общее количество экопродуктов, имеющих на маркировке национальную биопечать, превысило 55 тыс наименований. По данным РБК, наибольшие продажи отмечаются в сегменте горячих напитков (13 %), выпечки и хлеба (10,3 %), специй (9,7 %), мяса и мясных изделий (8,1 %), кондитерских изделий (6,1 %). [3]

В настоящее время рынок экологически чистых продуктов в России еще не сформирован окончательно, в то время как западный рынок растет и развивается более 30 лет. Однако в его формировании заинтересовано большинство российских производителей. Данные, полученные компанией Грант Торнтон в ходе опроса участников World Food Moscow 2011, говорят о следующем: 26% представителей пищевой отрасли отмечают, что наиболее благоприятной тенденцией для развития бизнеса является производство продуктов по экологически безопасным технологиям. Отраслевые игроки считают самыми важными инвестиции в усовершенствование производственного процесса (58%). При этом 26% респондентов отмечают важность инвестиций в экологические чистые технологии. У России есть определенные перспективы для того, чтобы претендовать на часть данного сектора мирового рынка.

### **Развитие российского рынка ЭКО-продуктов**

Рассматривая российский рынок экологически чистых продуктов, целесообразно изначально разделить внутренний и внешний рынки. На первоначальном этапе развития внутреннего рынка в России (при его зарождении) совершенно отчетливо проявляется его импортный характер и доминирование зарубежных игроков, которые предлагают группу экологически чистых продуктов премиум-класса по высоким ценам. Немногочисленные российские производители экологически чистых продуктов, наоборот, в основном занимаются экспортом продукции за рубеж. Корни сложившейся ситуации необходимо искать в истории зарождения экологически чистого производства в России.

Современная история экологического земледелия в России началась в 1989 году, когда была запущена всесоюзная программа «Альтернативное сельское хозяйство». За два года программа принесла международную сертификацию ряду хозяйств, но закончилась полным крахом, так как рынок не был готов к такой продукции. В 1994 году был открыт экспорт экологически чистой сертифицированной гречихи в Европу, а с 1995 года функционирует завод по переработке органики в Калужской области. Сейчас можно твердо сказать, что в России уже есть сельхозпроизводители, заинтересованные в экологическом способе ведения хозяйства. [4]

Ряд хозяйств в Тульской, Орловской, Новгородской, Омской, Псковской, Курской, Владимирской, Оренбургской, Ярославской, Московской областях, Ставропольском крае уже перешли на этот вид производства. Производится в основном



гречневая крупа, которая идет на экспорт в Европу и США. Северные российские предприниматели экспортируют вагоны дикорастущих ягод.

С запада России и Украины поставляются в Венгрию экологически чистые фрукты, в основном яблоки для завода детского питания Нирр. Также поставляются в европейские супермаркеты наша красная икра, форель. Но экспортировать экологически чистых продуктов за рубеж можно только после прохождения международной сертификации.

Оптимистичным является опыт Калининградской области, где принят закон об основах экологической политики. Создан фонд на сумму около 4 млн долл. для финансирования развития эоагропроизводства. Также налажена ежегодная поставка импортной сельхозтехники, заключен ряд соглашений с землями Германии, в рамках которых проводятся различные образовательные программы для будущих производителей экологической сельхозпродукции, запущен пилотный проект бюджетом 500 тыс. евро по внедрению на практике норм и правил экологического сельского хозяйства [5].

Способность России выдержать соответствие международным стандартам и быть конкурентоспособной на мировом рынке экологически чистых продуктов достаточно высока. Это объяснимо по следующим причинам.

1. Отдельные российские культуры слабо культивируются на Западе или не выращиваются вовсе, а некоторые отечественные – к примеру, дикорастущие ягоды, грибы, кедровые орехи, лекарственные растения – просто не имеют мировых аналогов. По оценкам экспертов, развитие российской индустрии экологически чистого сельского хозяйства перспективно в таких направлениях, как экологическое растениеводство, семеноводство, производство технических культур и рынок дикоросов.

2. Более жесткие, чем на Западе, государственные стандарты для обычных российских продуктов. Количество минеральных и органических удобрений, используемых в нашей стране, в десятки раз меньше, чем во многих развитых странах, к примеру, в 11 раз меньше, чем в США, в 23 раза меньше, чем в Китае. Кроме того, в России используется гораздо меньше средств химической защиты от различных вредителей и болезней на полях. В данном случае этот факт приобретает положительное значение: в отечественных продуктах питания гораздо меньше химии, нежели в импортных, что делает их более желанными как на внутреннем российском рынке, так и на международном.

3. Огромные запасы земель в России: внедрение экологических систем нужно осуществлять на огромных площадях, согласуя с большим количеством мелких собственников. Устойчивость экосистем как раз и определяется разнообразием биологических видов и площадью территории. Чем больше территория, чем разнообразнее флора и фауна, тем устойчивее система к вредным воздействиям антропогенного и техногенного фактора.

### **В чем проблема российского рынка ЭКО-продуктов?**

Но все же существуют проблемы, тормозящие развитие данного рынка в России. На территории России отсутствует единое для всей страны понятие экологических продуктов. На сегодняшний момент рынку предлагается не менее 10 вариантов названий данной категории продукции: экологически чистый продукт, экологически безопасный, экологический, экологичный, натуральный, organic, eco, bio и т.д. Подобная ситуация может привести к тому, что потребитель перестанет выделять данную категорию среди общей массы продуктов питания. Одно из самых распространенных наименований – «экологически чистый продукт» – запрещено к

употреблению в качестве маркировки продукции в соответствии с ГОСТом Р 51074-2003. Таким образом, производитель вынужден маркировать продукцию в соответствии со своим видением рынка.

Сегодня мы наблюдаем усиление государственного контроля за качеством потребительской продукции, корректируется нормативно-правовая база. В последнее время под эгидой Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации разработано и выдается свидетельство – экологический сертификат, который подтверждает уровень экологической чистоты товара.

Экологическая сертификация является частью общероссийской системы сертификации, введенной законом «О сертификации продукции и услуг», организационную и нормативную основу которой составляют стандарты серии «Система ГОСТ Р» и правила сертификации, утверждаемые Госстандартом РФ. Экологическая сертификация на территории Российской Федерации может носить добровольный или обязательный характер.

Тем не менее, в России отсутствуют единые для всей территории критерии, отличающие экологические продукты от обычной продукции. Создание и развитие рынка экологических продуктов в России невозможно без разработки подробного перечня критериев, выделяющих экологический продукт на рынке. Данные критерии должны не только стать основой для работы производителей с поставщиками, дистрибьюторами, предприятиями розничной торговли. Наличие единых критериев наравне с определением понятия экологических продуктов позволит позиционировать их перед потребителем, обратить его внимание на основные потребительские качества продукции, разработать грамотную стратегию продвижения. В России необходимо принять соответствующий закон (с учетом международных стандартов), а также другие нормативные акты: о независимых органах контроля, системе сертификации и национальной маркировке биопродукции, ГОСТы для экологических товаров.

Для России характерен экспортный характер развития рынка экологически чистых продуктов. В первую очередь это связано с неготовностью внутреннего рынка к экопотреблению вследствие низкого уровня жизни и экологического сознания населения. Но в общем можно говорить о большем потенциале развития экопроизводства в этих странах по причине более низкого уровня техногенного развития и загрязнения окружающей среды, а также более дешевой себестоимости производства экопродукции.

В ходе написания научной работы был проведен опрос среди молодых людей в возрасте от 20 до 35 лет в количестве 50 человек. Основные вопросы, которые задавались респондентам, были следующими:

- Знаете ли Вы, что такое экопродукция?
- Какое определение экологически безопасной («экологичной») продукции ближе к Вашему?
- Вы знаете, что такое экологическая маркировка продукции?
- Доверяете ли вы экомаркировке?
- Товарам каких групп с экомаркировкой вы бы отдали предпочтение по сравнению с аналогичными товарами без такой маркировки?
- Какие факторы имеют для Вас наибольшую значимость при выборе продукции?
- За какие продукты Вы готовы заплатить большую цену?
- Вы готовы покупать экологически безопасные товары по более высокой цене, чем товары без экомаркировки?
- Западная или российская экопродукция вызывает у Вас большее доверие?

В ходе исследования было выяснено, что более 80% опрошенных имеют представление о том, что такое экопродукция. Более 50% респондентов ближе

определение экопродукции как продукция, при производстве которой оказывается минимальное негативное воздействие на окружающую среду.

Тем не менее, более 70% опрошенных не знают, что такое экологическая маркировка продукции, и 60% сомневаются в экологичности таких товаров, даже если на продукции нанесена соответствующая эмблема.

Респондентам были представлены различные экознаки (рис.1) и задан вопрос: «Какие из представленных знаков Вам знакомы?». Более 80 % опрошенных не знают ни одной эмблемы экологического продукта.



Рис. 1. Знаки экомаркировки

Для большинства опрошенных самое важное значение имеет информация о составе, второе место занимает цена, далее – внешний вид и известность бренда (рис. 2). На вопрос: «За какие продукты Вы готовы заплатить большую цену?», 50 % опрошенных ответили: за продукты без содержания гмо, 30 % - экологически чистые продукты (рис. 3). Более 60% респондентов готовы платить больше за экологически чистый продукт, если цена не выше 10%. И более 90% опрошенных доверяют западной продукции, чем российской.

Подводя итоги, можно сделать следующий вывод: несмотря на развитие интереса граждан к биологически чистым, органическим продуктам, экологическое сознание россиян остается низким.

Для развития рынка экологически чистых продуктов в первую очередь необходимо уделить внимание именно социальной направленности данного вопроса. Правильное позиционирование экологических продуктов, продвижение идеи потребления экологически чистых продуктов в потребительские массы – залог успешного развития предпринимательства на рынке экологически чистых и безопасных продуктов питания. Для этого необходимо провести разъяснительную и образовательную работу с населением о пользе потребления экологически чистых продуктов, их отличиях от обычных продуктов.

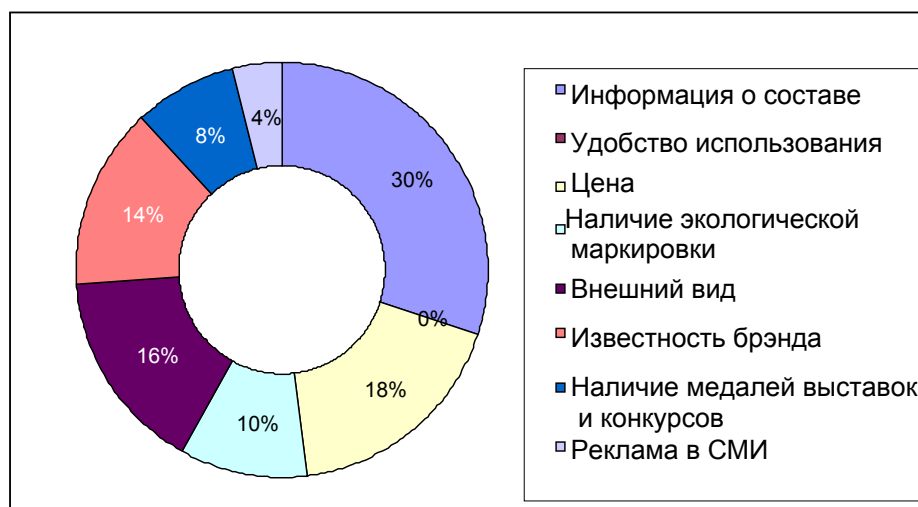


Рис. 2. Факторы, имеющие наибольшую значимость при выборе продукции

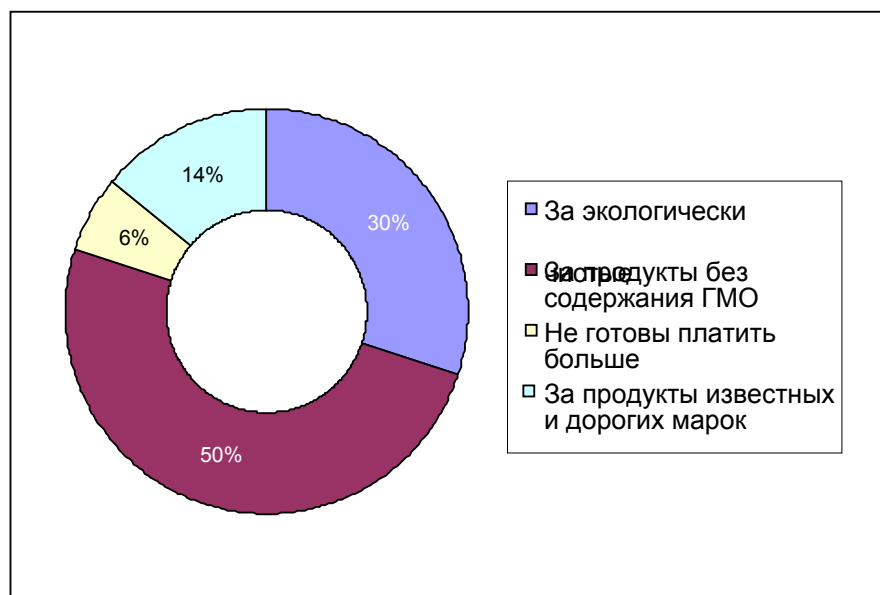


Рис. 3. Продукты, за которые потребители готовы заплатить большую цену

Также необходимо привлекать внимание потребителей к существующим экознакам и экомаркировке при помощи рекламных кампаний на телевидении, в прессе. Существующие экознаки должны стать узнаваемыми для потребителя и являться в его сознании безоговорочным подтверждением экологического качества продукта. Данные мероприятия должны проводиться на основе консолидированных финансовых усилий со стороны производителей экопродукции и операторов розничного рынка, с одной стороны, и российского правительства – с другой.

Сегодня рынок экопродуктов нуждается не только в законодательных решениях. Законодательство по производству и поставкам экопродуктов более чем в 100 странах мира разработано по единому образцу. Это позволяет гарантировать высокое качество и соответствие продуктов экологически чистым, где бы они не производились. Отмеченное обстоятельство обеспечивает игрокам присутствие на, по сути, неограниченном рынке. Сырье для экологически чистых продуктов выращивается в экологически чистых местах, удаленных от возможных источников загрязнения (автомобильных дорог, промышленных предприятий и пр.) вглубь буферной зоны. Химические удобрения полностью исключены из обработки земель и посевов. Для борьбы с сорняками и вредителями используются механические средства, входившие еще в арсенал наших предков. Применение стимуляторов, генетически модифицированных семян, как и ГМО вообще, запрещено.

Также необходима консолидация производственных и торговых компаний, поставщиков, дистрибуторов, экспертов в создании правил игры на зарождающемся рынке. На сегодняшний день в России производители и продавцы, а также импортеры экологической продукции разрознены и не являются действительно значимой силой, способной придать мощный толчок для развития рынка.

Для развития российского рынка экопродуктов необходимо использовать маркетинговые возможности, которые открывает развивающийся рынок для российских предприятий: получение международной сертификации и упрощение выхода на емкий международный рынок экологически чистых продуктов. Спрос на международном рынке экологически чистых продуктов превышает предложение, поэтому он, как правило, открыт для сертифицированных импортных продуктов. К

тому же на данном этапе развития мирового рынка экологически чистых продуктов ни одна страна мира не может полностью обеспечить себя экопродукцией собственного производства.

В России имеются хорошие стартовые возможности для экоагропроизводства и, как следствие, высокая конкурентоспособность российских экологически чистых продуктов на международном рынке: низкая себестоимость, высокая экологичность. Даже продукты традиционного агропроизводства в России являются более экологически приемлемыми, чем на Западе, что обусловлено отсутствием в их составе ГМ-компонентов, а также более строгими стандартами по использованию неорганических удобрений.

### Литература

1. The World of Organic Agriculture 2004. Statistics and Emerging Trends / Helga Wilier and Mi'nou Youssef (Eds). — IFOAM Publication, 6th, revised edition, 2004.
2. Коновалов А. В области производства экопродуктов мы отстаем на 20 лет // Российская Бизнес-газета, № 824 (42)
3. Цветкова Д. Европейский рынок экологически чистых продуктов и способы их продвижения // Журнал Продвижение Продовольствие. PROD&PROD/ Органическое нашествие
4. Мазурова А.Ю. «География мирового рынка биоорганических продуктов питания» (Москва, 2009)
5. Горшков Д.В. Рынок экологически чистых продуктов: зарубежный опыт и перспективы России // Некоммерческий фонд природы и окружающей среды «Всемирная Флора Фауна»

УДК 537.876.43

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ИМПУЛЬСОВ СО СВЕРХШИРОКИМ СПЕКТРОМ В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ С УЧЕТОМ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ВОЛН

Л.С. Конев, Ю.А. Шполянский

Приведен численный метод решения системы уравнений для прямой и обратной волн излучения со сверхшироким спектром в прозрачном оптическом волноводе с произвольной дисперсией и кубической нелинейностью. Рассчитано образование самоотраженной волны, сопровождающее сверхуширение спектра интенсивного фемтосекундного импульса прямой волны в кварцевом волокне.

Ключевые слова: предельно короткий импульс, фемтосекундный импульс, сверхуширение спектра, обратная волна, самоотражение.

### Введение

К актуальным вопросам современной нелинейной оптики относится теоретическое описание эволюции излучения фемтосекундной (фс) длительности со сверхшироким спектром [1– 3]. Часто такое описание строится на основе приближения однонаправленного распространения [1– 4], когда предполагают, что излучение распространяется вдоль оси волновода только в выделенном (прямом) направлении, а обратная волна отсутствует. Такой подход позволяет получать многие важные для современной оптики теоретические результаты [1– 4].

Однако известны серьезные исследования, показывающие важность учета обратной волны [5– 7]. В настоящей работе продемонстрировано, как можно естественно и достаточно просто обобщить метод численного моделирования поля

прямой волны излучения со сверхшироким спектром за счет корректного учета обратной волны. Вместо одного уравнения, записанного в приближении однонаправленного распространения, решается система уравнений для прямой и обратной волн, полученная в работе [7]. Метод расчета применен для моделирования образования самоотраженной обратной волны в условиях, когда на входе в волновод обратная волна отсутствует. Получены результаты по структуре поля и спектра прямой и обратной волн.

### Система уравнений для прямой и обратной волн

В [7] показано, что полное волновое уравнение может быть сведено к системе уравнений для спектров прямой  $G_+ = F(E_+)$  и обратной  $G_- = F(E_-)$  волн с потоками энергии, соответственно, в положительном (+) и отрицательном (-) направлениях координаты распространения (оси) оптического волновода  $z$ :

$$\begin{cases} \partial_z G_+ = +ik(\omega)G_+ + \frac{1}{2}ik(\omega)N(G_+ + G_-), \\ \partial_z G_- = -ik(\omega)G_- - \frac{1}{2}ik(\omega)N(G_+ + G_-), \end{cases} \quad (1)$$

$$N(G) = \frac{1}{n^2(\omega)} 4\pi F[P_{NL}(E)].$$

Электрическое поле представляет собой сумму полей прямой и обратной волн:  $E = E_+ + E_-$ ;  $G = F(E)$ ;  $G = G_+ + G_-$ ;  $k(\omega) = \omega n(\omega) / c$  - константа распространения в волноводе;  $n(\omega)$  - показатель преломления,  $\omega$  - частота излучения;  $c$  - скорость света в вакууме;  $N(G)$  - оператор нелинейного воздействия в спектральной области,  $P_{NL}(E)$  - нелинейный поляризационный отклик волновода,  $F$  - преобразование Фурье:  $G(z, \omega) = F(E(z, t)) = \int_{-\infty}^{+\infty} E(z, t) \exp(i\omega t) dt$ .

Заметим, что предположение  $G_- = 0$  - суть приближения однонаправленного распространения, переводит систему (1) в известное и широко применяемое уравнение для прямой волны излучения со сверхшироким спектром [3,4] (первое уравнение системы (1) при  $G_- = 0$ ), т.е. система (1) является его естественным обобщением.

Вынесение  $n^2(\omega)$  в знаменатель выражения для  $N(G)$  не является стандартным и сделано в [7] специально, чтобы осуществить необходимую факторизацию дифференциального оператора при выводе системы (1) из полного волнового уравнения, которое в спектральной области можно записать в виде:

$$\partial_z^2 G = -k^2(\omega)G - k^2(\omega)N(G). \quad (2)$$

Несложно убедиться, что система (1) эквивалентна (2). Для этого продифференцируем (1) по  $z$  (для компактности представления объединив запись, используя знак “ $\pm$ ”):

$$\partial_z^2 G_{\pm} = \pm ik(\omega)\partial_z G_{\pm} \pm \frac{1}{2}ik(\omega)\partial_z N(G_+ + G_-). \quad (3)$$

После подстановки (1) в первое слагаемое в правой части (3) получаем:

$$\partial_z^2 G_{\pm} = \pm ik(\omega) \times \left\{ \pm ik(\omega)G_{\pm} \pm \frac{1}{2}ik(\omega)N(G_+ + G_-) \right\} \pm ik(\omega)\partial_z N(G_+ + G_-).$$

Раскрывая скобки и складывая уравнения для прямой и обратной волн, имеем:

$$\partial_z^2 (G_+ + G_-) = -k^2(\omega)(G_+ + G_-) - k^2(\omega)N(G_+ + G_-). \quad (4)$$

Учитывая, что  $G = G_+ + G_-$ , уравнение (4) идентично уравнению (2).

### Параметры оптической среды

В работе рассматривается эволюция излучения в оптическом волноводе из кварцевого стекла. Дисперсионная зависимость показателя преломления такого волновода как функция частоты хорошо описывается выражением [4]:

$$n(\omega) = N_0 + a\omega^2 - bc/\omega^2. \quad (5)$$

При моделировании использовались константы аппроксимации, полученные в [4]:  $N_0 = 1.4508$ ,  $a = 2.7401 \cdot 10^{-44} \text{ с}^3 \text{ см}^{-1}$ ,  $b = 3.9437 \cdot 10^{17} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

Доминирующим механизмом нелинейности кварцевого стекла в поле фемтосекундного импульса из малого числа колебаний поля является безинерционная кубическая нелинейность электронной природы:

$$P_{NL}(E) = \chi_3 E^3, \quad (6)$$

где  $\chi_3$  – нелинейная кубическая восприимчивость. В системе единиц СГСЭ справедливо соотношение [2]:

$$n_2 = \frac{3\pi}{N_0} \chi_3,$$

где  $n_2$  – коэффициент нелинейного показателя преломления. Для кварцевого стекла этот коэффициент в единицах системы СИ имеет значение  $\tilde{n}_2 = 2.9 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2/\text{Вт}$  [1].

### Численный метод

Для численного решения системы (1) применен метод расщепления по физическим процессам [1]. При таком подходе результат воздействия различных эффектов при распространении импульса на малое расстояние  $\Delta z$  рассчитывается отдельно: на первом этапе учитывается влияние только нелинейных, а на втором – только линейных эффектов (сдвиг импульса как целого и дисперсионное расплывание). Далее процедура повторяется на следующем шаге по  $z$ . Таким образом, на каждом шаге по  $z$  последовательно решаются две системы дифференциальных уравнений для прямой и обратной волн:

$$\partial_z E_{\pm} = \mp \frac{2\pi\chi_3}{c} F^{-1} \left\{ \frac{i\omega}{n(\omega)} F \left[ (E_+ + E_-)^3 \right] \right\}, \quad (7)$$

$$\partial_z E_{\pm} = \mp F^{-1} \left[ ik(\omega) F(E^{\pm}) \right]. \quad (8)$$

На нелинейном шаге решается система (7) во временной, а на линейном шаге – система (8) в частотной области в виде:

$$\partial_z G_{\pm}(z, \omega) = \pm ik(\omega) G_{\pm}(z, \omega). \quad (8')$$

Переходы между временным и спектральным представлениями осуществляются с помощью процедуры быстрого преобразования Фурье.

Для дискретизации систем (7), (8) вводится сетка, равномерная по времени  $t$  и, соответственно, по частоте  $\omega$ , и в общем случае неравномерная по расстоянию  $z$ :

$$\left\{ t_m, m = 1..M, t_m = m\Delta t, \Delta t = T/M \right\},$$

$$\left\{ \omega_j, j = -M/2..M/2, \omega_j = j\Delta\omega, \Delta\omega = 2\pi/T \right\},$$

$$\left\{ z_n, n = 1..N, \Delta z_n = z_{n+1} - z_n, z_0 = 0, z_N = Z_{\max} \right\},$$

где  $M$  – количество отсчетов по времени,  $\Delta t$  – шаг по времени,  $T$  – размер временного окна,  $\Delta\omega$  – шаг по частоте,  $N$  – количество отсчетов по координате  $z$ , а  $Z_{\max}$  определяет длину отрезка среды, в которой рассматривается распространение импульса.

Линейные уравнения (8') в частотной области решаются точно:

$$G_{\pm}(z + \Delta z, \omega) = G_{\pm}(z, \omega) \exp[\pm ik(\omega)\Delta z]. \quad (9)$$

Нелинейный шаг рассчитывается по разностной схеме Кранка-Николсона с внутренними итерациями (решение нелинейной задачи на шаге до сходимости):

$$E_{\pm}^{n+1} = E_{\pm}^n \mp \Delta z \frac{2\pi\chi_3}{c} F^{-1} \left\{ \frac{i\omega}{n(\omega)} F \left[ \left( E_{sum}^{n+0.5} \right)^3 \right] \right\}. \quad (10)$$

Здесь  $E_{sum}^{n+0.5} = E_+^{n+0.5} + E_-^{n+0.5}$  – суммарное поле и  $E_{\pm}^{n+0.5} = (E_{\pm}^n + E_{\pm}^{n+1})/2$  – поля прямой и обратной волн на полшаге ( $n+0.5$ ). На первой итерации вычисляется

$$E_{sum}^n = E_+^n + E_-^n,$$

$$E_{\pm}^{n+1<1>} = E_{\pm}^n \mp \Delta z \frac{2\pi\chi_3}{c} F^{-1} \left\{ \frac{i\omega}{n(\omega)} F \left[ \left( E_{sum}^n \right)^3 \right] \right\}.$$

Далее до сходимости осуществляется следующий процесс:

$$E_{\pm}^{n+0.5<k>} = \frac{1}{2} \left( E_{\pm}^n + E_{\pm}^{n+1<k>} \right),$$

$$E_{sum}^{n+0.5<k>} = E_+^{n+0.5<k>} + E_-^{n+0.5<k>},$$

$$E_{\pm}^{n+1<k+1>} = E_{\pm}^n \mp \Delta z \frac{2\pi\chi_3}{c} F^{-1} \left\{ \frac{i\omega}{n(\omega)} F \left[ \left( E_{sum}^{n+0.5<k>} \right)^3 \right] \right\},$$

где  $k$  – номер внутренней итерации на нелинейном шаге,  $2 \leq k \leq K_{\max}$ ,  $K_{\max}$  – максимальное разрешенное количество внутренних итераций. В качестве критерия сходимости проверяется условие близости решений на последующих итерациях  $k$  и  $k+1$  с заданной точностью.

Численный метод естественным образом обобщает разработанную ранее вычислительную процедуру для случая однонаправленного распространения излучения [4]. Важной особенностью при моделировании прямой и обратной волн является необходимость анализа решения в стоячей системе координат. В случае рассмотрения только прямой волны применяют сопровождающую систему координат,двигающуюся с групповой скоростью прямой волны, что очень существенно сокращает объем вычислений. Здесь такая экономия неприменима и время расчета увеличивается.

### Численное моделирование

Численный метод применен для моделирования эволюции интенсивного импульса из малого числа колебаний в кварцевом волокне с учетом генерации обратной волны. Поле импульса прямой волны на входе в среду записано в виде

$$E_+(0, t) = E_{\max} \exp(-2t^2 / \Delta\tau_0^2) \sin(\omega_0 t), \quad (11)$$

где  $E_{\max}$  – максимальное значение начального поля,  $\Delta\tau_0$  – длительность импульса,  $\omega_0 = 2\pi c / \lambda_0$  – центральная частота,  $\lambda_0$  – центральная длина волны. Предполагается, что изначально обратная волна отсутствуют:  $E_-(0, t) = 0$ , т.е. изучается процесс ее формирования (эффект нелинейного самоотражения излучения) и эволюции.

При моделировании использованы физически значимые параметры начального импульса (рис. 1):  $\lambda_0 = 780$  нм (лазер на сапфире с титаном),  $\Delta\tau_0 = 3T_0 = 7.8$  фс ( $T_0 = \lambda_0/c$  – период колебаний на длине волны  $\lambda_0$ ), интенсивность излучения  $I = 1.7 \cdot 10^{10}$  кВт/см<sup>2</sup> ( $I[\text{кВт}/\text{см}^2] = (3N_0/8\pi)E_{\max}^2[\text{СГСЭ}]$  [2]).

Рассчитанные поля прямой и обратной волн на расстоянии  $z = 4\lambda_0$  в волноводе показаны на рис. 2. Распределения поля нормированы на свои максимумы. Прямая



волна (жирная линия) в стоячей системе координат смещается в сторону больших значений времени (вправо). На таком малом расстоянии изменения временного профиля прямой волны еще не заметны, видимый эффект – сдвиг импульса как целого вправо с групповой скоростью. В спектре на рис. 3 (жирная линия) видно, что имеет место генерация утроенной частоты под воздействием кубической нелинейности.

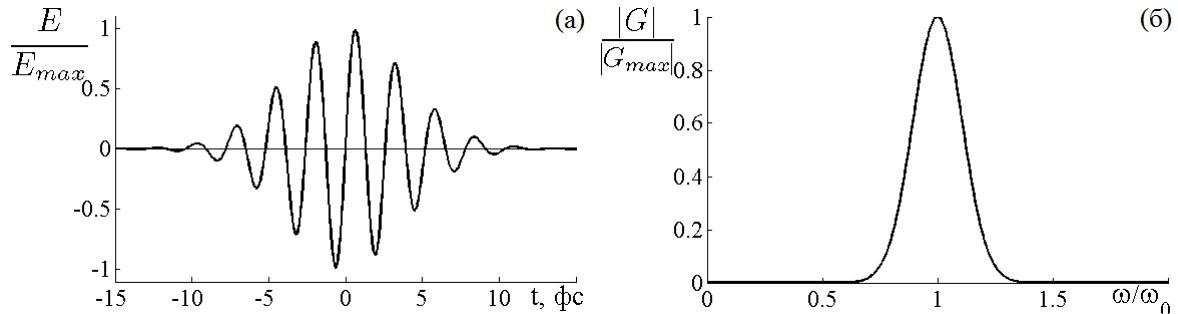


Рис. 1. Электрическое поле (а) и спектральная плотность (б) начального импульса

Однако расстояние  $z = 4\lambda_0$  оказывается достаточно для формирования обратной волны, изначально отсутствующей. То, что обратная волна должна появляться видно из второго уравнения системы (1). Как и следовало ожидать, в рассматриваемом случае нерезонансного взаимодействия со средой, интенсивность обратной волны невелика: отношение максимумов полей обратной и прямой волн  $E_-^{\max} / E_+^{\max}$  составляет 0.00186. С увеличением расстояния  $z$  амплитуда обратной волны не увеличивается.

Неочевидный результат – это наличие части  $E_-^{right}$  поля  $E_- = E_-^{left} + E_-^{right}$ , двигающейся вправо совместно с прямой волной (пунктирные линии на Рис. 2, 3). Детальный анализ системы (1) подтверждает справедливость расчета. Наличие такой составляющей “обратной” волны описано также в [7]. Одной из причин ее появления является произвольность разделения поля на прямую и обратную волны.

Излучение  $E_-^{left}$ , распространяющееся в обратном направлении (тонкие линии на рис. 2, 3), появляется на начальном этапе распространения и может быть интерпретировано как самоотражение излучения от скачка показателя преломления, индуцированного прямой волной. Сформировавшись, эта часть обратной волны перестает как-либо зависеть от прямой волны в изучаемом режиме, т.к. больше не пересекается с ней по времени, и ее дальнейшая эволюция обусловлена дисперсией. Эволюция части  $E_-^{right}$ , наоборот, полностью навязывается прямой волной. В ее спектре  $G_-^{right}$  кроме третьей генерируется также пятая гармоника (рис. 3)

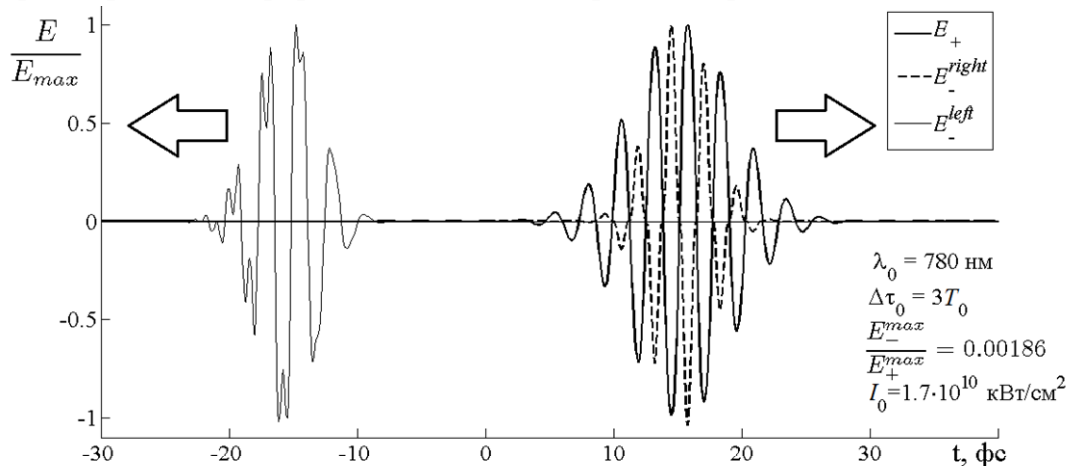


Рис.2. Поля  $E_+$  и  $E_-$  на расстоянии  $z = 4\lambda_0$

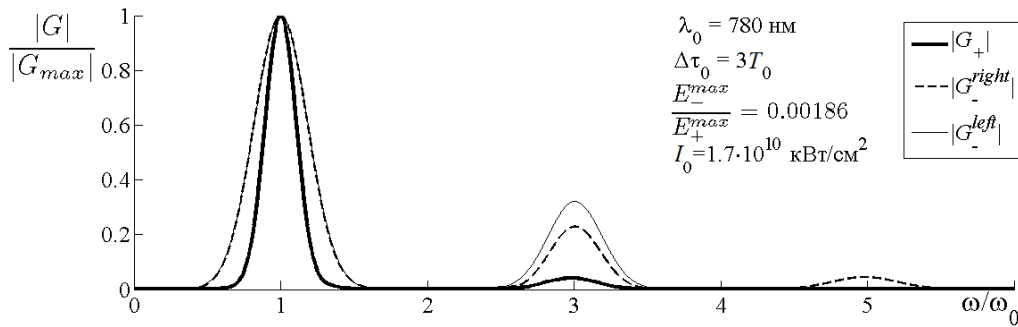


Рис.3. Спектральные плотности  $G_+$  и  $G_-$  на расстоянии  $z = 4\lambda_0$

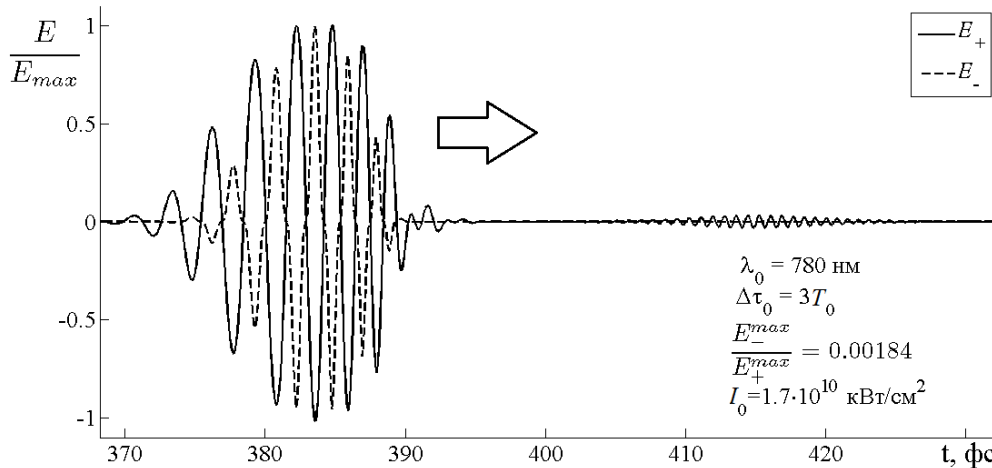


Рис.4. Поле  $E_+$  и часть поля  $E_-$ , распространяющаяся вправо, на расстоянии  $z = 100\lambda_0$

На рис. 4 проиллюстрированы распространяющиеся вправо поля  $E_+$ ,  $E_-^{right}$  на расстоянии  $z = 100\lambda_0$ . Двигаясь с групповой скоростью прямой волны, импульсы здесь уже накопили временную задержку  $\sim 385$  фс. Форма импульса прямой волны заметно изменилась, как это свойственно для распространения в среде с нормальной групповой дисперсией [4]. От импульса прямой волны отстает импульс на утроенной частоте, с временной задержкой  $\sim 415$  фс. Симметричная относительно  $t = 0$  область отрицательных значений  $t$  также присутствует в расчете, но здесь не показана. Результаты для прямой волны совпадают с рассчитанными в приближении однонаправленного распространения. Показанное пунктиром поле  $E_-^{right}$ , находится в противофазе с  $E_+$ . На рис. 5 показаны спектральные плотности прямой волны и обеих частей обратной волны при  $z = 100\lambda_0$ . Результаты наглядно демонстрируют сужение спектра и генерацию третьей и пятой гармоник.

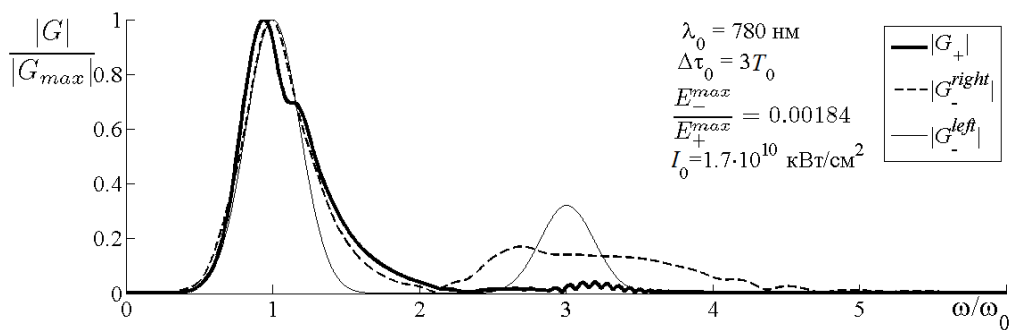


Рис.5. Спектральные плотности  $G_+$  и  $G_-$  на расстоянии  $z = 100\lambda_0$

### Заключение

Реализован численный метод решения системы уравнений для прямой и обратной волн излучения со сверхшироким спектром в прозрачном оптическом волноводе с произвольной дисперсией и кубической нелинейностью. Показано, что метод естественным образом обобщает разработанную ранее и хорошо зарекомендовавшую себя вычислительную процедуру для случая однонаправленного распространения излучения.

Рассчитано образование самоотраженной волны, сопровождающее сверхуширение спектра интенсивного импульса прямой волны с начальной длительностью 7.8 фс в кварцевом волокне. Структура обратной волны индуцируется прямой волной. Ее амплитуда составляет порядка  $2 \cdot 10^{-3}$ , а интенсивность  $4 \cdot 10^{-6}$  от соответствующих параметров прямой волны. Поэтому обратная волна не оказывает влияния на прямую волну, результаты для прямой волны совпадают с полученными в приближении однонаправленного распространения.

Импульсы прямой и обратной волн испытывают сверхуширение спектров, происходит генерация третьей и пятой кратных гармоник в условиях кубической нелинейности.

### Литература

1. Агравал Г.П. Нелинейная волоконная оптика. – М.: Мир, 1996. – 328 с.
2. Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. – М.: Наука, 1988. – 312 с.
3. Brabec T., Ferenc K. Intense few-cycle laser fields: *Frontiers of nonlinear optics //Reviews of Modern Physics* – 2000. – v. 72 – №2 – С. 545–547.
4. Bespalov V. G, Kozlov S.A., Shpolyanskiy Yu.A., Walmsley I.A. Simplified field wave equations for the nonlinear propagation of extremely short light pulses //*Physical Review A* – 2002. – v. 66 – 013811.
5. Розанов Н.Н. Преобразование оптического излучения на быстро движущихся плавных неоднородностях среды //*Оптика и спектроскопия* – 2009. – Том 106 – №3 – С. 487–493.
6. Буяновская Е.М., Козлов С.А. Динамика полей встречных световых импульсов из малого числа колебаний в нелинейный диэлектрических средах //*Письма в ЖЭТФ* – 2007. – Том 86 – Вып. 5 – С. 349–353.
7. Kinsler P, Radnor S. B. P., New G. H. C. Theory of directional pulse propagation //*Physical Review A* – 2005. – v. 72 – 063807.

УДК 004.422.832

## СИСТЕМА ЕДИНОГО ВХОДА В ГЕТЕРОГЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Д.С. Копылов, А.В. Лямин

В настоящее время у одного пользователя может быть несколько учетных записей на различных ресурсах. Для упрощения авторизации и аутентификации может быть использована технология единого входа. Но использование имеющихся технологий возможно только лишь в среде веб-приложений. Для проведения авторизации и аутентификации в гетерогенных системах, где присутствуют и веб-приложения и автономные приложения, был разработан алгоритм, описанный в данной статье. Также описан пример реализации получившегося алгоритма.

**Ключевые слова:** учетные записи, авторизация и аутентификация, автономные приложения и веб-приложения, Java-технологии

## Введение

В настоящее время у одного пользователя может быть несколько учетных записей на различных ресурсах: несколько учетных записей электронной почты, социальные сети, интернет-магазины и др. Для каждой из этих служб рекомендуется использовать различные пароли [1]. Но человеку порой сложно запомнить их. Для упрощения задачи авторизации и аутентификации может использоваться технология единого входа: пользователь вводит пароль на сервере авторизации, и в дальнейшем приложения используют эти сведения. Примером таких технологий могут служить OpenID и Windows Live ID.

Данная работа выполнялась в рамках комплексного проекта «Разработка оптико-цифрового диагностического комплекса для телемедицины», целью которого является создание высокотехнологичного производства с участием российского высшего учебного заведения. Комплекс включает в себя 3 системы: систему микровизионную (СМ), систему видеоэндоскопную (СВ) и систему сетевую (СС). Для СМ и СВ к моменту начала работ по проекту уже существовало ПО, обеспечивающее работу с оптико-цифровым анализатором микроизображений и эндоскопом. Эти приложения являются автономными, т.е. работали непосредственно на компьютерах систем. Для хранения медицинских данных существует пользовательский интерфейс к базе данных диагностических исследований (БДДИ), являющийся толстым клиентом. Также комплекс включает в себя веб-приложение для доступа к БДДИ из глобальных информационных систем. Эти приложения функционируют в гетерогенной среде.

## Постановка задачи

Для проведения авторизации существующих и вновь разрабатываемых веб- и автономных приложений разработана обобщающая схема взаимодействия всех приложений комплекса. Сервер авторизации и веб-приложения обмениваются данными по протоколу SOAP поверх HTTP или HTTPS. Веб-браузер пересылает автономному приложению данные по протоколу HTTP. В данном случае использование защищенного протокола HTTPS не обязательно, так как передача происходит на локальном компьютере. Сервер авторизации и автономное приложение работают друг с другом по протоколу SOAP.

Были проанализированы существующие реализации систем технологии единого входа. Они могут работать только в среде веб-приложений, где единственным настольным приложением пользователя является веб-браузер. Но если возникает необходимость проведения авторизации в гетерогенных системах, где используются как веб-приложения, так и автономные, то использовать имеющиеся системы не представляется возможным. Поэтому и была разработана технология единого входа в гетерогенных системах.

Использование данной технологии также с успехом может быть использовано в образовательном процессе. В настоящее время ведутся разработки программно-аппаратных образовательных комплексов – цифровых лабораторий на базе планшетных компьютеров с использованием различных ОС. Но лидирующие позиции на рынке планшетных ОС занимает Google Android. Планшеты на базе этой ОС позволяют использовать всю мощь языка Java для написания ПО, а также позволяют подключать внешние устройства по USB и взаимодействовать с ними. Такими устройствами могут быть механические, оптические, звуковые датчики, готовые лабораторные установки и др. Эти комплексы позволяют улучшить качество проведения работ, ускорить время развертывания лабораторного стенда, упростить работу с ним за счет применения

сенсорного дисплея. Но для проведения лабораторных работ необходимо контролировать обучающихся, так как необходимо знать, кто в данный момент работает за установкой. Так как в большинстве образовательных учреждений существует единая БД учетных записей обучающихся, они могут быть использованы при проведении авторизации на лабораторных комплексах. Эти учетные записи могут использоваться в различных веб-приложениях, таких как корпоративный портал, система дистанционного обучения и др.

### Описание алгоритма

Для начала работы с любым приложением системы пользователь обращается к нему, а оно, в свою очередь, открывает веб-браузер и перенаправляет пользователя на страницу сервера авторизации, где ему будет предложено ввести свои учетные данные - логин и пароль. В случае успешного входа на сервер авторизации сессия работы пользователя с системой привязывается к IP-адресу (или MAC-адресу) устройства и приложению передается ключ сессии. В дальнейшем оно может получать у сервера авторизации данные о пользователе. Алгоритм изображен на рисунке 1.



Рис. 1. Алгоритм работы

### Пример работы

Рассмотрим пример работы пользователя с настольным приложением. Вначале он запускает программу. Далее приложение открывает TCP-порт на локальном адресе (например, порт 9876). В дальнейшем на него будет передан HTTP-запрос, содержащий

ключ сессии. Затем пользователь входит в систему авторизации в веб-браузере. Если на данном компьютере пользователем был совершен вход (в веб-браузере записаны cookies) и время последнего обращения не превышает допустимое, то перед ним открывается список доступных приложений. Иначе пользователь входит на сервер авторизации. Далее он щелкает по ссылке с именем приложения, ведущей на локальный адрес (например, [http://127.0.0.1:9876/user\\_key=12345678123456781234567812345678](http://127.0.0.1:9876/user_key=12345678123456781234567812345678)) и содержащей ключ сессии. Приложение, на основе полученного ключа, выполняет SOAP-запрос к веб-службе для получения идентификатора пользователя и дополнительной информации (ФИО, номер группы и др.) и информирует пользователя о прохождении авторизации на странице веб-браузера. Пользователь выполняет работу с приложением. Последовательность работы показана на рис. 2.

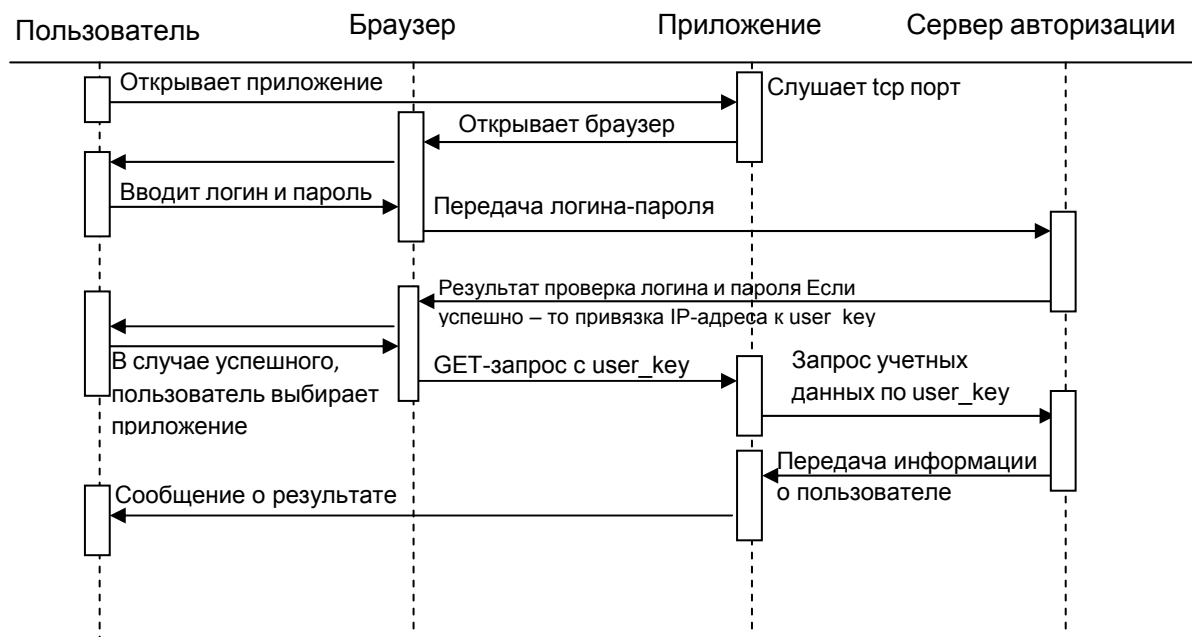


Рис. 2. Последовательность работы

В случае, когда пользователь хочет обратиться к веб-приложению, он должен переключиться в веб-браузер к главной странице сервера авторизации и перейти по ссылке к нужному приложению. В новом окне он увидит информацию о входе и будет переадресован к веб-приложению.

Информация о входе может храниться в браузере как в сессии, так и в cookies. Последний вариант позволяет поддерживать работу и при закрытии и последующем открытии веб-браузера.

### Тестовая система

Для проведения испытаний алгоритма была разработана система авторизации, тестовое веб-приложение и настольное приложение. Информация хранится в БД под управлением СУБД MySQL. Серверная сторона веб-приложения реализована с использованием технологий JavaEE [2]. Клиентская сторона работает на JavaScript. Интерфейс пользователя – HTML, CSS. Приложения взаимодействуют с сервером авторизации по протоколу SOAP, используя контейнер веб-служб Apache Axis [3]. Вся система функционирует под управлением контейнера сервлетов Apache Tomcat. Архитектура системы показана на рис. 3.

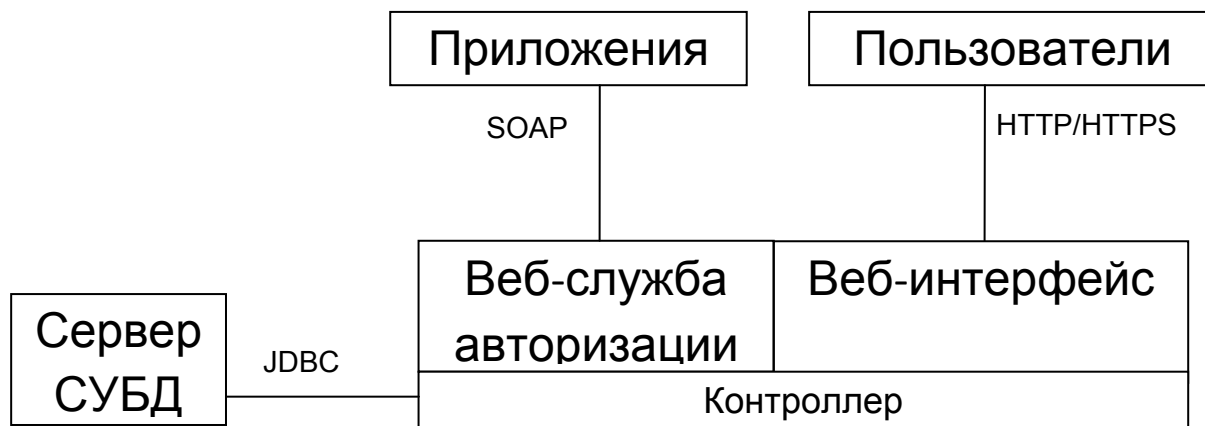


Рис. 3. Архитектура системы

### Заключение

В данной работе проанализированы имеющиеся системы авторизации и разработан алгоритм авторизации в гетерогенных системах. Разработаны тестовые приложения, демонстрирующие работу алгоритма.

### Литература

1. Папонов И.С. Актуальные вопросы безопасности web-приложений //Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2007. – № 12. – С. 159-163.
2. Java 2. Библиотека профессионала, том 2. Тонкости программирования. 8-е издание. : Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2010. – 992 с.: ил. – Парал. тит. англ.
3. David A. Chappell Java Web Services / David A. Chappell, Tyler Jewell – США: O'Reilly Media, Inc., 2002. – 276 с.

УДК 007.51

## СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

С.А. Кудинов, А.А. Стародубцев

Настоящая статья описывает устройство и функционирование системы информационно-аналитического сопровождения производства. Данная система основана на принципе сетевого взаимодействия между клиентами и сервером и позволяет значительно упростить процесс технологической подготовки производства и управление жизненным циклом изделия в целом. Система основана на открытых стандартах, что позволяет легко расширять ее функциональные возможности посредством подключаемых модулей, а так же создает предпосылки к получению широкого распространения.

**Ключевые слова:** сопровождение, производство, анализ, автоматизация, проектирование.

### Введение

В настоящее время в производстве наблюдается острая необходимость в упорядочении и автоматизации его информационного сопровождения, усовершенствовании технологического оснащения. Весомое значение приобретает потребность в информационном взаимодействии организаций.

Такие тенденции сформировались не только в связи со стремительным развитием технических и информационных средств сопровождения производства, но и как следствие увеличения количества решаемых на всех этапах производства задач. В частности, стоит отметить актуальность задачи интеграции деятельности предприятий с целью повышения общей эффективности их функционирования.

На рынке существует ряд профессиональных продуктов, частично решающих описанные задачи. Продукт компании Dassault Systemes – программный пакет SolidWorks – обеспечивает широкие возможности сопровождения жизненного цикла изделия, однако, не охватывает вопросы управления жизненным циклом предприятия. Кроме того, данный пакет не решает задачи автоматизированного выбора и проектирования технологии, управления виртуальными предприятиями.

Решение AutoCAD WS позволяет осуществлять просмотр и редактирование электронных чертежей и моделей посредством веб-сервисов, в том числе на портативных устройствах (планшеты, смартфоны). Интеграция данного решения в разрабатываемую систему позволит расширить ее функциональные возможности.

Основное преимущество настоящей системы заключается в способности объединения различных технологий и инструментов с целью стандартизации и обеспечения наилучшей стратегии взаимодействия. Это осуществляется за счет присутствия мультиагентности в системе [1]. Помимо этого в системе используется технология SaaS (Software-as-a-service, приложение-как-услуга), что обеспечивает свободный доступ с любого устройства, поддержание системы в актуальном состоянии, динамичное развитие, без прекращения функционирования системы.

Для хранения и работы с данными применяется нереляционная СУБД CouchDB, которая по ряду характеристик превосходит альтернативные инструменты, применимые для решения поставленных задач.

Обобщенную структуру системы отражает схема 1.

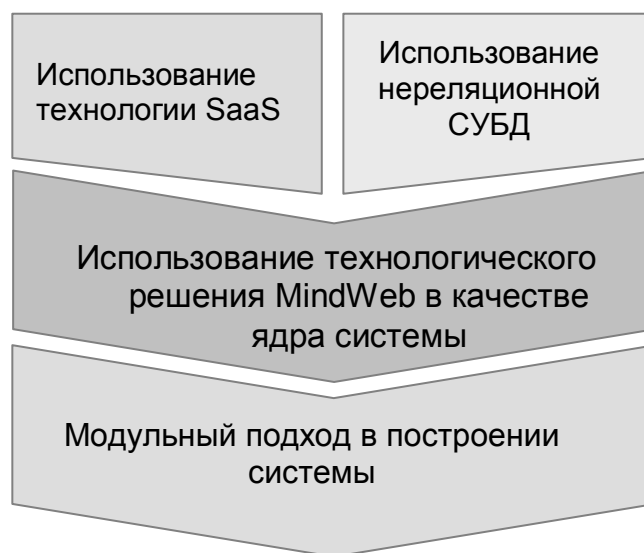


Рис. 1. Обобщенная структура системы

### **Ядро системы**

В основе системы лежит высокотехнологичное ядро MindWeb, в задачи которого входит обеспечение функционирования вспомогательных процессов в системе, связь между модулями и предоставление графического интерфейса для взаимодействия с пользователями. На сегодняшний день MindWeb является самостоятельным,



быстроразвивающимся проектом, суть которого состоит в эффективном взаимодействии с информацией и организация открытой SAAS платформы. В своей работе MindWeb использует следующие принципы:

- Навигация посредством MindMap интерфейса.
- Организация БД в виде единой базы знаний с использованием семантической сети.
- Использование механизмов саморазвития системы.
- Персонализированный подход к ранжированию информации.

Далее опишем реализацию этих принципов в отдельности.

### **MindMap интерфейс**

Интерфейс в MindWeb организован в виде так называемых диаграмм связей или MindMap. Смысл данной технологии заключается в графическом отображении информации в виде различных взаимосвязей. Диаграмма связей реализуется в виде древовидной схемы, на которой изображены слова, идеи, задачи или другие понятия, связанные ветвями, отходящими от центрального понятия или идеи. В основе этой техники лежит принцип «радиантного мышления», относящийся к ассоциативным мыслительным процессам, отправной точкой или точкой приложения которых является центральный объект. (Радиант – воображаемая точка небесной сферы, из которой исходят видимые пути тел с одинаково направленными скоростями, например, метеоров одного потока). Это показывает бесконечное разнообразие возможных ассоциаций и, следовательно, неисчерпаемость возможностей мозга. Подобный способ записи позволяет диаграмме связей неограниченно расти и дополняться. Диаграммы связей используются для создания, визуализации, структуризации и классификации идей, а также как средство для обучения, организации, решения задач, принятия решений, при написании статей [2, 3].

### **Организация базы данных**

В качестве системы управления базы данных для MindWeb используется нереляционная СУБД CouchDB, обеспечивающая большие возможности для организации архитектуры БД. К особенностям данного решения можно отнести возможность формирования структуры данных «на лету», наличие встроенной системы контроля версии, возможность как работы по сети, так и автономной работы в условиях отсутствия сетевого доступа. Архитектура БД представлена в виде семантической сети, которая представляет собой информационную модель предметной области, имеющую вид ориентированного графа, вершины которого соответствуют объектам предметной области, а дуги (ребра) задают отношения между ними. Объектами могут быть понятия, события, свойства, процессы [4]. Таким образом, семантическая сеть является одним из способов представления знаний. В названии соединены термины из двух наук: семантика в языкознании изучает смысл единиц языка, а сеть в математике представляет собой разновидность графа – набора вершин, соединенных дугами (ребрами). В семантической сети роль вершин выполняют понятия базы знаний, а дуги (причем направленные) задают отношения между ними. Таким образом, семантическая сеть отражает семантику предметной области в виде понятий и отношений [5].

### **Модульная структура системы**

Еще на этапе планирования настоящей системы среди прочих важных задач была определена концепция модульного построения. Такой подход к построению сложной и многофункциональной системы оправдывается многочисленными преимуществами его применения.

В первую очередь, модульный подход предоставляет системе высокую степень гибкости. В зависимости от спектра практических задач, стоящих перед производством, на котором внедряется система, она может быть сконфигурирована таким образом, чтобы в нее были включены лишь те модули, необходимость которых продиктована требованиями данного конкретного производства. При этом нужно учитывать, что технологии, применяющиеся в архитектуре системы, позволяют не только поддерживать актуальную версию каждого из модулей, но и добавлять при необходимости новые модули в уже установленную и функционирующую систему.

Таким образом, обеспечивается расширяемость системы. Благодаря применению открытого кода, наличию API, значительно упрощающего внедрение новых функциональных возможностей, новые модули могут создаваться не только непосредственными разработчиками ядра системы и базовых модулей, но и сторонними организациями и программистами. Это позволяет создавать на базе системы уникальные продукты, решающие специфические задачи любого предприятия, причем без необходимости задействовать в этом непосредственно разработчиков системы.

Изначально при проектировании системы заложен определенный набор базовых модулей, позволяющий осуществлять различные типовые операции, единые для различных областей применения, вне зависимости от индивидуальных особенностей производства, на котором внедряется система. За счет этого реализуется принцип универсальности целого ряда модулей системы.

На рис. 2 представлена типовая структура модульного состава системы, предназначенной для информационно-аналитического сопровождения производства.



Рис. 2. Модульная структура системы

Во главе всей системы находится ядро, построенное на базе технологии MindWeb, с которым взаимодействуют различные модули. Их можно логически разделить на четыре основных типа:

- модули взаимодействия предприятий;
- модули внутренней организации предприятия;
- модули информационного сопровождения;
- различные вспомогательные модули.

Модули взаимодействия предприятий предназначены для повышения эффективности и координации совместной деятельности предприятий. Отдельный модуль необходим для формирования и работы с профилем предприятия, в котором может храниться вся необходимая для сопровождения взаимодействия информация о предприятии. Модуль выбора предприятия позволит сделать оптимальный отбор по заданным параметрам предприятий, удовлетворяющим внешним потребностям других предприятий-участников системы.

Внутренняя организация предприятия в первую очередь связана с правильной организацией работы его сотрудников. Система позволяет повысить эффективность и оперативность взаимодействия сотрудников предприятия. Модуль работы с профилем сотрудника обеспечивает идентификацию его роли в корпоративных процессах, определяет в соответствии с ролью права доступа и работы с теми или иными данными или модулями системы. Система управления жизненным циклом предприятия благодаря соответствующим модулям способна заниматься планированием (управлением) ресурсами предприятия (ERP), управлением взаимодействием с клиентом (CRM), управление цепочками поставок, а также непосредственно жизненным циклом изделия (PLM).

Самым обширным разделом, очевидно, является информационное сопровождение. По назначению модули здесь можно разделить на два класса:

- Модули, предназначенные для хранения и классификации различных данных в базах знаний – это могут быть базы материалов, технологий, чертежей, моделей, оборудования и оснастки. Стоит отметить гибкую возможность системы как хранить информацию в исходных форматах баз данных, при этом имея полноценный доступ к ней, так и осуществить импорт и конвертацию данных из различных сторонних источников в единый стандартизированный формат. Работа с данными осуществляется посредством вспомогательных модулей – СУБД.
- Модули, являющиеся экспертными системами принятия решений. Благодаря модульному подходу возможно внедрение в систему уже разработанных ранее экспертных систем по классификации и унификации технологий, материалов, оборудования, оснастки. Разработка модулей, занимающихся интеллектуальной обработкой данных позволит реализовать эффективную связь между пользователями системы и ее информационным наполнением.

Наконец, определен набор вспомогательных модулей, необходимых для работы системы с внешними продуктами и сервисами. Это модули импорта и экспорта данных. Импорт данных предполагает как чтение информации из электронных моделей и чертежей с формате распространенных САД-систем, так и распознавание графических (сканированных) чертежей. Кроме того, помимо электронных моделей объектов производства предполагается и импорт различных библиотек (материалы, оборудование и т.п.)

За решение каждой отдельной задачи отвечает отдельный модуль, что позволяет проводить постепенное внедрение новых функций в систему и расширять функциональные возможности по мере необходимости. А заинтересованные представители сторонних сервисов и программных продуктов имеют полную свободу в создании авторских инструментов интеграции в настоящую систему информационно-аналитического сопровождения производства.

### **Заключение**

- Внедрение данной системы в работу предприятия дает следующие преимущества:
- Выход взаимодействия между предприятиями на новый уровень;
  - Улучшение контроля над внутренними процессами жизненного цикла предприятия;

- Эффективное взаимодействие между сотрудниками разных подразделений предприятия;
- Автоматизация процессов, требующих высокий уровень подготовки специалистов;
- Обеспечение интеграция между различными программными продуктами. Однако, несмотря на обозначенные преимущества, существует ряд недостатков:
- Невозможность интеграции с заведомо закрытыми программными продуктами;
- Необходимость длительной разработки полноценно функционирующего продукта, в то время как существующие аналоги и схожие платформы уже доступны для развертывания и практического использования на производстве.

### Литература

1. Портал Искусственного Интеллекта [Электронный ресурс] / Проект AIportal.ru; <http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/multiagent-systems.html>
2. Сергей Бехтерев. Майнд-менеджмент. Решение бизнес-задач с помощью интеллект-карт. – М.: «Альпина Паблишер», 2011. – С. 312.
3. Тони и Барри Бьюзен. Супермышление – The Mind Map Book. – М.: Попурри, 2007. – С. 320
4. Roussopoulos N.D. A semantic network model of data bases. – TR No 104, Department of Computer Science, University of Toronto, 1976 – С. 105
5. Sowa, John F., Principles of Semantic Networks: Explorations in the Representation of Knowledge, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1991

УДК 519

## УРАВНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕТИКИ ТИПА КОСТИЦЫНА С НЕПРЕРЫВНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПРИЗНАКАМИ

Кузнецов М.В., Норин А.В.

Статья посвящена анализу динамической системы этнической популяции с помощью интегрально-дифференциальных уравнений. Изложены краткое описание трехкомпонентной модели этнической популяции, подчиненной закону наследования Менделя, и подход, в основе которого лежит непрерывная распределенность признаков популяции.

**Ключевые слова:** генетика, Костицын, Мендель, популяция, эволюция.

### Введение

В математической генетике эволюция популяций во времени описывается уравнениями Костицына с использованием законов наследования Менделя. Особенностью такого описания является дискретный характер признаков генотипических групп. В действительности же наследуемые признаки имеют непрерывный характер и могут иметь промежуточные значения. В результате появляется необходимость в создании непрерывной модели эволюции популяций.

Сначала рассмотрим трехкомпонентную модель этнической популяции с классическим менделевским модель наследованием. Предположим, что популяция состоит их трех генотипических групп с численностями  $N_1, N_2, N_3$  и с генотипами PP, PG, GG, где G – “фоновый” ген популяции, а P – мутантный ген, ответственный за новый признак. Тогда динамика пассионарно-генетической структуры популяции можно будет описать системой уравнений В.А. Костицына [1, 2]:

$$\dot{N}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 z_{jk}^i F_{jk} N_j N_k - k_i N_i - \sum_{j=1}^3 \gamma_{ij} N_i N_j \quad (i=1,2,3). \quad (1)$$

Слагаемые в правых частях уравнений (1) характеризуют изменение численности генотипических групп за счет рождаемости, смертности и межгрупповой конкуренции. Величина  $N = N_1 + N_2 + N_3$  – численность популяции.  $F_{jk} = \begin{pmatrix} a & b & d \\ b & c & e \\ d & e & f \end{pmatrix}$  – симметричная матрица коэффициентов с неотрицательными элементами,  $k_i > 0$  – коэффициенты смертности,  $\gamma_{ij} \geq 0$  – коэффициенты межгрупповой конкуренции. Коэффициенты  $z_{jk}^i$  – элементы матрицы наследственности. Будем рассматривать модель, подчиняющуюся закону наследования Менделя:

$$z_{jk}^1 = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 0 \\ 1/2 & 1/4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad z_{jk}^2 = \begin{pmatrix} 0 & 1/2 & 1 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \\ 1 & 1/2 & 0 \end{pmatrix}, \quad z_{jk}^3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}.$$

Тогда система уравнений Костицына имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{N}_1 &= a \frac{N_1^2}{N} + b \frac{N_1 N_2}{N} + \frac{1}{4} c \frac{N_2^2}{N} - k_1 N_1 - N_1 \sum_{j=1}^3 \gamma_{1j} N_j \\ \dot{N}_2 &= b \frac{N_1 N_2}{N} + \frac{1}{2} c \frac{N_2^2}{N} + 2d \frac{N_2 N_3}{N} + e \frac{N_2 N_3}{N} - k_2 N_2 - N_2 \sum_{j=1}^3 \gamma_{2j} N_j \\ \dot{N}_3 &= e \frac{N_2 N_3}{N} + \frac{1}{4} c \frac{N_2^2}{N} + f \frac{N_3^2}{N} - k_3 N_3 - N_3 \sum_{j=1}^3 \gamma_{3j} N_j \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Система (2) широко применяется в математической генетике, но аналитически исследована лишь в некоторых конкретных случаях [1]. Однако большим недостатком является дискретный характер признаков. В генетике невозможно в точности определить количество различных вариаций признаков, так же как невозможно однозначно сопоставить признакам характеристики «доминантный» и «рецессивный», так как зачастую существуют и промежуточные значения. В связи с этим появляется необходимость в описании передачи признаков с помощью интегрально-дифференциальных уравнений, в которой различным признакам соответствовали бы отдельные промежутки числовой оси.

### Основной текст

Пусть некий признак  $p$  имеет количественную характеристику, т.е. может принимать значения от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Будем говорить, что пространство признаков представляет собой числовую ось  $(-\infty; +\infty)$ . Пусть  $n(p, t) \cdot \Delta p$  – количество особей. Обладающих признаком, лежащим в диапазоне от  $p$  до  $p + \Delta p$  в момент времени  $t$ .

Введем

$$N(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} n(p, t) dp \quad (3)$$

– количество всех особей в момент времени  $t$ . Функция  $n(p, t)$  характеризует концентрацию особей с признаком  $p$  в момент времени  $t$ . Тогда для нее можно составить следующее уравнение:

$$\frac{\partial n(p, t)}{\partial t} = -k n(p, t) + \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} K(p', p'', p) \frac{n(p', t) n(p'', t)}{N(t)} dp' dp''. \quad (4)$$

Здесь  $K(p', p'', p)$  – ядро интегрального уравнения, является функцией, отвечающей за плодовитость пары с признаками  $p'$  и  $p''$ , а также за вероятность рождения у пары с такими признаками потомка с признаком  $p$ ;  $k$  – коэффициент смертности, одинаковый для всех видов особей. Таким образом, первое слагаемое в правой части уравнения отвечает за естественную убыль популяции, а второе — за рождаемость.

Особый интерес представляет собой второе слагаемое — двойной интеграл по пространству признаков, и, в частности, ядро  $K(p', p'', p)$ . Ясно, что конкретный вид ядра зависит от типа модели, которую мы пытаемся описать. Однако некоторые его свойства можно задать канонически, опираясь на физический смысл данной функции:

- По смыслу ядро неотрицательно  $K(p', p'', p) \geq 0$
- При отсутствии учета половой структуры популяции ядро должно быть симметричным относительно двух переменных  $p'$  и  $p''$   
 $K(p', p'', p) = K(p'', p', p)$ .

Покажем, что от уравнения (4) при определенном виде ядра можно перейти к уже рассмотренной нами дискретной модели математической генетики — уравнениям Костицына с законом наследования Менделя.

В дискретном случае функция  $n(p, t)$  обладает следующими свойствами:  
 $n(p_1, t) = N_1(t)$ ,  $n(p_2, t) = N_2(t)$ ,  $n(p_3, t) = N_3(t)$ ,  $n(p, t) = 0$  ( $p \neq p_1, p_2, p_3$ )

Для построения функции ядра воспользуемся дельта-функцией Дирака. Тогда ядро будет выглядеть следующим образом:

$$W(p', p'', p) = \sum_{i=1}^3 A_i(p) \sum_{j,k=1}^3 \delta(p' - p_j) \delta(p'' - p_k) z_{jk}^i F_{jk}, \quad (5)$$

где

$$A_1(p) = \frac{(p - p_2)(p - p_3)}{(p_1 - p_2)(p_1 - p_3)}, \quad A_2(p) = \frac{(p - p_1)(p - p_3)}{(p_2 - p_1)(p_2 - p_3)}, \quad A_3(p) = \frac{(p - p_1)(p - p_2)}{(p_3 - p_1)(p_3 - p_2)},$$

$$A_i(p_i) = 1, \quad A_i(p_k) = 0 \quad (i \neq k);$$

коэффициенты  $z_{jk}^i$  – элементы матрицы наследственности для закона Менделя, множитель  $F_{jk}$  – элемент матрицы плодовитости.

Далее, подставляя (5) в уравнение (4) и подставляя в качестве параметра  $p$  одно из значений  $p_i$  ( $i=1,2,3$ ), мы получаем соответствующее  $i$ -ое уравнение Костицына системы.

Для примера получим 2-ое уравнение Костицына системы (2): подставим в качестве  $p$  значение  $p_2$  и воспользуемся свойством  $A_i(p)$ :

$$p = p_2, \quad W(p', p'', p_2) = \sum_{j,k=1}^3 \delta(p' - p_j) \delta(p'' - p_k) z_{jk}^2 F_{jk},$$

подставим полученное ядро в интеграл уравнения (4):

$$\frac{\partial n(p_2, t)}{\partial t} = -k n(p_2, t) + \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \left( \sum_{j,k=1}^3 \delta(p' - p_j) \delta(p'' - p_k) z_{jk}^2 F_{jk} \right) \frac{n(p', t) n(p'', t)}{N(t)} dp' dp'',$$

поменяем местами интегралы и сумму, а также воспользуемся свойствами  $n(p, t)$  в дискретном случае:

$$\dot{N}_2(t) = -k N_2(t) + \sum_{j,k=1}^3 \frac{z_{jk}^2 F_{jk}}{N(t)} \left( \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(p' - p_j) n(p', t) dp' \right) \left( \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(p'' - p_k) n(p'', t) dp'' \right),$$

воспользуемся свойством дельта-функции, подставим значения из матриц плодовитости и наследственности:

$$\dot{N}_2(t) = -k N_2(t) + b \frac{N_1(t) N_2(t)}{N(t)} + \frac{1}{2} c \frac{N_2^2(t)}{N(t)} + 2d \frac{N_1(t) N_3(t)}{N(t)} + e \frac{N_2(t) N_3(t)}{N(t)}.$$

Получаем 2-е уравнение Костицына.

### Заключение

Таким образом, трехкомпонентная модель популяции, использующая закон наследования Менделя, является частным случаем предложенной нами прерывной модели.

Моделирование ядра  $W(p', p'', p)$  позволяет строить различные генетические модели эволюции популяций. Интересен вопрос о поиске стационарных решений уравнения (4).

### Литература

1. Свережев Ю.М., Пасеков В.П. Основы математической генетики. – М., Наука, 1982. – 512 с.
2. Абросов Н.С., Боголюбов А.Г. Экологические и генетические закономерности существования и коэволюции видов. – Нов-к: Наука, 1988. – 333 с.

УДК: 681.3

## МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ 3D-МОДЕЛИ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ В САПР КОМПАС

**О.В. Кузнецова, Е.Б. Романова**

Рассмотрена методика разработки трехмерной модели печатной платы, основанная на конвертации данных о плате из САПР печатных плат P-CAD в машиностроительную САПР КОМПАС-3D. Получена трехмерная модель печатной платы. Сделан вывод о применении разработанной модели и дальнейшей перспективе исследования данной темы.

**Ключевые слова:** печатная плата, САПР, трехмерная модель, трехмерный конвертер.

В последнее время трехмерное моделирование приобретает все большее значение. Особую роль в современных системах EDA (Electronic Design Automation) имеет трехмерная модель электронного изделия. Трехмерная модель (3D-модель) дает более полную картину в отношении конструкции и работы изделия по сравнению с двухмерной моделью (2D-модель). Использование трехмерной модели дает следующие преимущества: наглядность; удобство разработки и быстрота модернизации; автоматизированные инженерные расчеты; ассоциативность, т.е. автоматическое внесение изменений во все составляющие электронного описания изделия при изменении какого-либо из компонентов изделия [1].

В качестве печатной платы (под печатной платой понимается плата с установленными на ней электронными компонентами) была рассмотрена основная плата весового дозатора. Весовой дозатор – это устройство, предназначенное для дозировки сыпучих продуктов. Дозатор данного типа используется в пищевой промышленности.

Основная плата весового дозатора была разработана в системе P-CAD, наиболее популярной в России среди САПР печатных плат (ПП). В системе P-CAD (модуль P-CAD PCB) этот файл имеет стандартное расширение \*.pcb, и топология выглядит так, как показано на рис. 1.

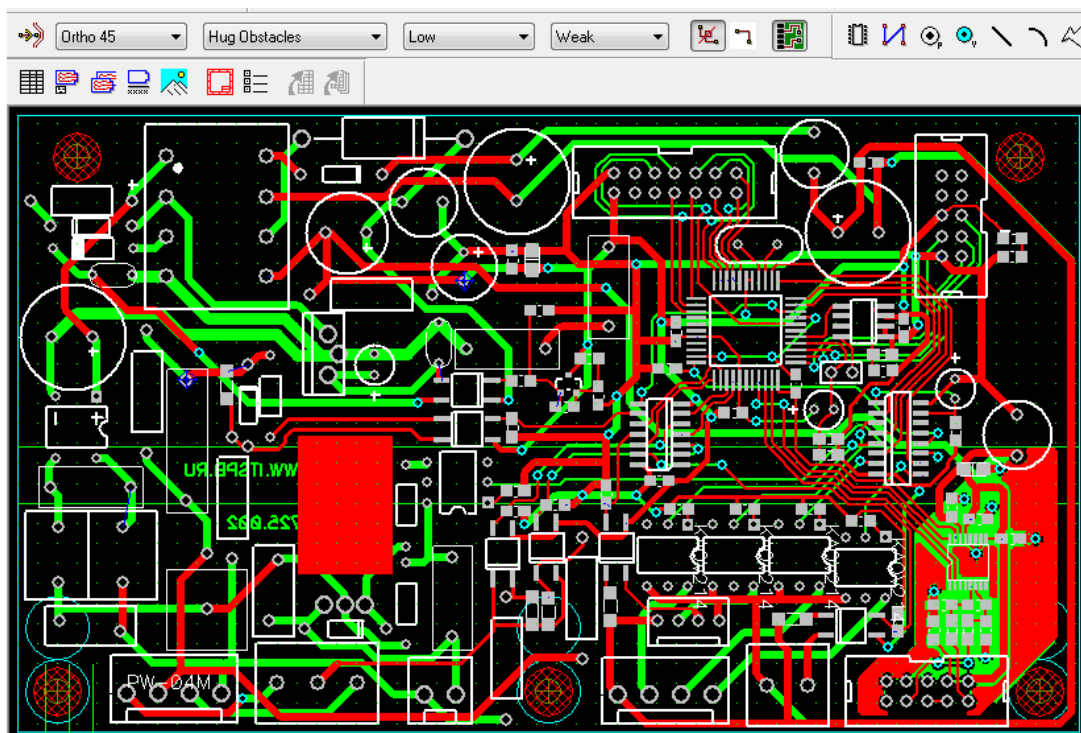


Рис. 1. Топология основной платы весового дозатора в системе P-CAD 2006

Для формирования 3D-модели основной платы весового дозатора используется «3D-конвертер P-CAD-КОМПАС», который входит в состав библиотек конвертеров данных ECAD-КОМПАС менеджера библиотек системы КОМПАС-3D. 3D-конвертер обеспечивает автоматизированное трехмерное моделирование печатной платы [2, 3].

Первоначально в системе P-CAD (редактор PCB) выполняется операция экспорта в формат обмена IDF. При этом создаются 2 файла. В системе P-CAD PCB эти файлы имеют расширения \*.brd и \*.pro. В первый входит текстовое описание геометрии платы (координаты контура, координаты и ориентация элементов на плате, координаты и диаметры отверстий), а второй, библиотечный файл элементов содержит координаты габаритного прямоугольника ЭРЭ (электро-радиоэлемента) каждого типа [4].

Затем в системе КОМПАС-3D необходимо открыть «3D-конвертер P-CAD-КОМПАС», выбрать «brd-файл» и запустить конвертер.

При конвертации данных о плате дозатора из САПР ПП P-CAD в машиностроительную САПР КОМПАС-3D, 3d-модель получилась недостаточно полной – некоторые корпуса остались двухмерными. Поэтому было произведено повторное конвертирование данных, были добавлены отсутствующие высоты компонентов в окне, изображенном на рис. 2.

Допустимо задание высоты, как для отдельных компонентов, так и для всех сразу (при этом рекомендуется задать максимальную высоту из всех, которые могут встретиться у элементов данной платы). Если поставить галочку напротив элемента в столбце «игнорировать», то элемент отображаться не будет [5].

Формирование трехмерной модели может занять несколько минут в зависимости от производительности компьютера и количества компонентов на плате [4]. Процесс формирования модели контролируется в окне 3D-конвертера. Характерными являются сообщения о том, что в сборке имеются какие-либо элементы, находящиеся за пределами платы. Подобные сообщения не являются следствием ошибок в работе 3D-конвертера, а наследуются из промежуточных файлов обмена через IDF-формат и являются неизбежным следствием проблем построения трехмерных образов на основе



преобразования \*.pcb проектов, созданных на основе операций двухмерного представления. Результат конвертирования данных представлен на рис. 3.

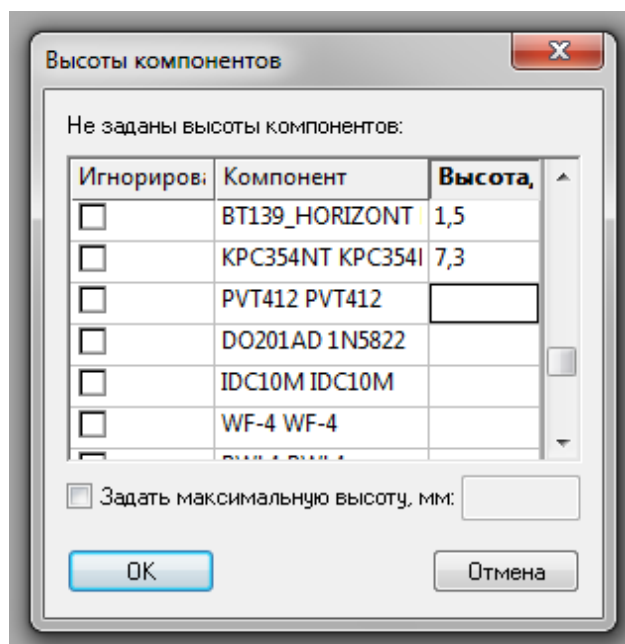


Рис. 2. Операция по заданию высот электронных компонентов

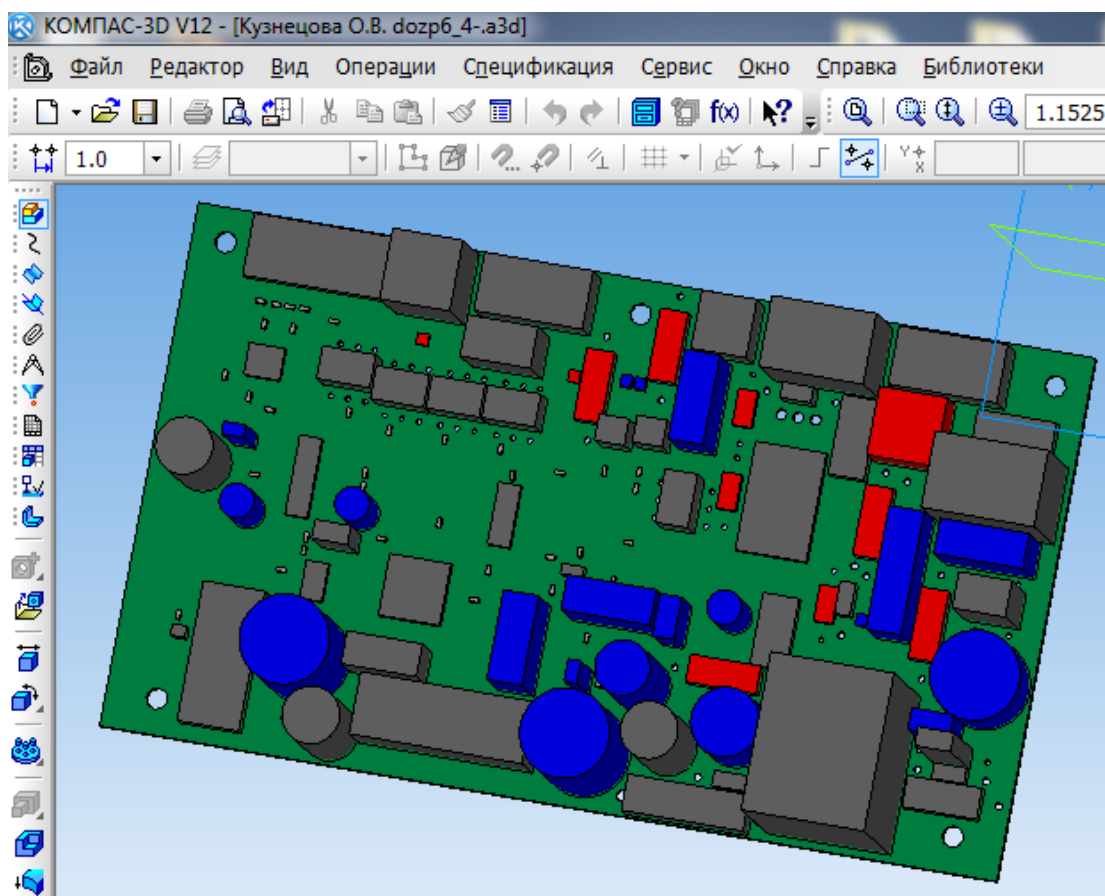


Рис. 3. Трехмерная модель платы весового дозатора

В результате работы «3D конвертера P-CAD-КОМПАС» получилась 3D-модель печатной платы с упрощенным изображением и реальными высотами корпусов электро-радиоэлементов. Полученную трехмерную модель печатной платы можно использовать для трехмерной компоновки изделия.

Приведенная методика формирования 3D-модели ПП в системе КОМПАС-3D, иллюстрирует базовые результаты, приводящие к построению упрощенного трехмерного представления печатной платы, посредством метода экструзии (метод формирования габаритных моделей в виде параллелепипедов по заданной высоте компонента).

В качестве дальнейшей перспективы исследования данной темы можно рассматривать получение более реалистичной 3D-модели печатной платы с использованием заранее созданных пользователем библиотек трехмерных компонентов или методом замены сгенерированных конвертером моделей на созданные заранее 3D-модели компонентов печатной платы (например, в формате step).

### Литература

1. Gatchin Y.A., Romanova E.B., Korobeynikova M.A. RP-technologies in designing the radio-electronic equipment. Proceedings of the International Scientific Conferences «Intelligent Systems (IEEE AIS'04)» and «Intelligent CAD's (CAD-2004)». Scientific publication in 3 volumes. – Moscow: Physmathlit, 2004. vol.3. P.127-128.
2. Соседко В. Подготовка и оформление чертежа печатной платы в системе автоматизированного проектирования КОМПАС (статья)// САПР и графика, Москва 2011, №3, с. 65-67.
3. Багаев Д., Фирумян А. Система САТУРН – средство 3D-проектирования печатных плат (статья) // САПР и графика, Москва 2007, №9, с. 54–56.
4. Похилько А.Ф. Комплексное проектирование узлов РЭС с использованием САПР PCAD в системах 3D моделирования (КОМПАС 3D, SolidWorks): Метод. указ. Ульяновск: УлГТУ, 2009, – 40 с.
5. Большаков В.П. Построение 3D-моделей сборок в системе автоматизированного проектирования КОМПАС: Учеб. пос. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. - 80 с.

УДК 004.582

## СИСТЕМА ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ ПО ХИМИИ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

П.В. Куликов, Д.Г. Николаев, Д.Г. Штенников

Дополненная реальность – стремительно развивающаяся технология. Область ее применения постоянно расширяется. Одной из сфер ее применения является образование. Статья описывает применение построителя моделей химических органических элементов, использующего технологию дополненной реальности. Для демонстрации возможностей построителя разработан курс по химии для школьников в СДО Moodle.

**Ключевые слова:** дополненная реальность, химия, построитель, курс, moodle,

Дополненная реальность (англ. augmented reality, AR), – термин, относящийся ко всем проектам, направленным на дополнение реальности любыми виртуальными элементами. Один из самых известных примеров дополненной реальности – цветная линия, показывающая расстояние от точки удара меча до ворот во время штрафных в футболе.

Термин предположительно был предложен работавшим на корпорацию Boeing исследователем Томом Коделом в 1990 году. Существует несколько определений

дополненной реальности: исследователь Рональд Азума в 1997 году определил дополненную реальность как систему, которая:

- совмещает виртуальное и реальное.
- взаимодействует в реальном времени.
- работает в 3D.

Существует еще одно определение: дополненная реальность – добавление к поступающим из реального мира ощущениям виртуальных объектов. Последние становятся доступны в реальности при использовании специальных компьютерных программ. Виртуальными объектами могут являться тексты, ссылки на сайты, фотографии, объемные элементы, звуки, видео и т.п. Они могут быть как пассивными, просто наблюдаемыми людьми, так и интерактивными, взаимодействующими с ними.

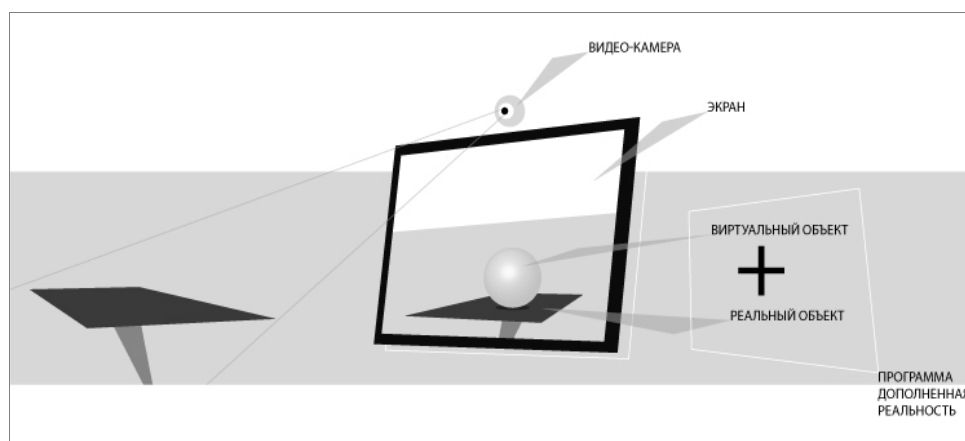


Рис. 1. Принцип работы дополненной реальности

В одном из самых простых случаев для создания эффекта дополненной реальности нужны четыре основные составляющие: веб-камера, компьютер, маркер и программа. Пользователь печатает на листе бумаги специальное изображение (маркер) и подносит в поле зрения веб-камеры. К этому моменту на компьютере должно быть запущено приложение, которое распознает маркер на получаемой с камеры картинке и отображает на его месте какой-либо элемент – текст, фотографию, объемный объект и т.д. [1].

Использование дополненной реальности возможно во многих сферах человеческой деятельности. Например при путешествиях можно получать дополнительную информацию прямо из Wikipedia, перемещаться по городам, используя приложение Layar, рекламировать новые вещи, организовывать виртуальные примерочные, использовать маркеры в качестве манипулятора в играх и дать новую жизнь книгам. Фактически сфера применения дополненной реальности безгранична – строительство, медицина, бизнес, образование.

Одной из наиболее известных компаний, занимающейся дополненной реальностью в сфере образования, является LearnAR, которой разработано множество обучающих приложений, связанных с различными учебными дисциплинами.

В программе по химии каждый маркер отвечает за соответствующее вещество. Поднося маркеры друг к другу, пользователь смешивает вещества, видит анимированное 3D-изображение реакции и узнает ее результаты. Работа данной программы представлена на рис. 2.

Также существует приложение, позволяющее добавлять в структуру при помощи соответствующего маркера элементы водород и кислород.

Применяя дополненную реальность, можно сделать уроки химии интересными и безопасными. Используя разработанное приложение, обучающийся может взаимодействовать с реальными объектами – колбами и штативами – при помощи нанесения на них соответствующих маркеров, но при этом не будет риска нанесения травм, ожогов или аллергии на химические реагенты. Фактически применение дополненной реальности ограничивается фантазией разработчика.

Разработка построителя химических органических элементов, отображающего структуру элемента с использованием дополненной реальности, позволит больше заинтересовать обучающегося и разнообразить процесс обучения.



Рис. 2. Работа обучающей программы, разработанной LearnAR

Основной целью разработки является создание приложения, позволяющего демонстрировать структуру химического органического соединения с использованием технологии дополненной реальности.

Разработка приложения условно разделилась на следующие этапы:

- изучение возможных видов органических элементов, изучаемых в программе средней школы. Необходимо узнать физические и химические свойства этих элементов и общую формулу;
- разработка моделей химических элементов;
- разработка алгоритмов распознавания химического элемента по заданной формуле с учетом их возможного существования;
- разработка приложения, содержащего изображение от камеры и формы ввода формул или названий химических органических элементов.

Приложение-построитель может использоваться в системе дистанционного обучения (СДО) Moodle [2], т.е. имеет возможность запускаться в браузере. На рис. 3 представлен примерный результат работы разрабатываемого построителя. Имеется две платформы, работающих в браузере и позволяющие использовать дополненную реальность. Это Adobe Flash и Java. Для каждой из них имеется соответствующая библиотека, позволяющая программисту работать с технологией дополненной реальности. На данный момент обе платформы полностью бесплатны, но использование Flash в Windows 8 сейчас под вопросом: мобильные платформы давно отказались от поддержки Flash. Таким образом, для разработки приложения выбрана технология Java.



Рис. 3. Примерный результат работы строителя

Апплет может запускаться как отдельная программа без браузера и как составная часть курса в СДО через веб-интерфейс. При помощи java-script созданный java-applet встраивается на страницу курса в Moodle.

В СДО Moodle для иллюстрации возможностей апплета создан курс «Номенклатура химических органических соединений». Курс создавался с использованием компетентностного подхода. В курсе запланированы следующие результаты обучения (РО):

- изучение номенклатуры алканов (РО1);
- изучение номенклатуры алкенов (РО2);
- изучение номенклатуры алкадиенов (РО3);
- изучение номенклатуры алкинов (РО4);
- изучение номенклатуры спиртов и фенолов (РО5);
- изучение номенклатуры альдегидов и кетонов (РО6);
- изучение номенклатуры карбоновых кислот (РО7);
- изучение номенклатуры аминов (РО8);
- изучение номенклатуры аминокислот (РО9);
- изучение темы «Номенклатура химических органических соединений» (РО).

График последовательности изучения разделов представлен на рис. 4. Весь курс можно разбить на 6 этапов, сложность изучения которых постепенно возрастает. Последний этап является завершающим, на котором проверяются знания по всей теме курса.

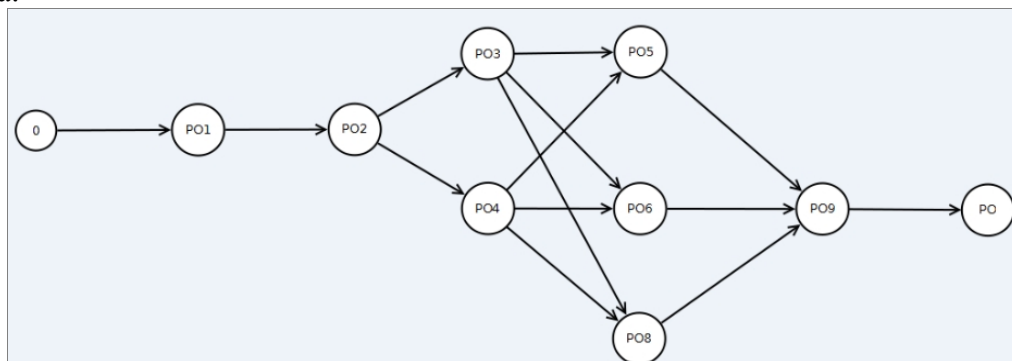


Рисунок 4. График последовательности прохождения результатов обучения

## Литература

1. The University of North Carolina at Chapel Hill [Электронный ресурс] / R. Azuma, A Survey of Augmented Reality. – Режим доступа: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>, своб. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
2. Moodle.org: open-source community-based tools for learning [Электронный ресурс] / Moodle 2.2 documentation. – Режим доступа: <http://docs.moodle.org>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

УДК 334.02

## КОНЦЕПЦИЯ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА К УПРАВЛЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Д.Э. Курочкин, П.В. Бураков

Рассматривается современный подход к управлению информационным развитием предприятия, позволяющий на качественно новом уровне организовать деятельность ИТ-службы предприятия, определить связи информационного развития предприятия с его стратегией бизнеса, основными целями и задачами, а также сформировать понятийную базу и создать основу для общего языка, с целью продуктивного взаимодействия представителей бизнеса и ИТ-специалистов. Подход декларирует смещение акцентов с управления структурными элементами предприятия на управление бизнес-процессами. С целью повышения результативности и эффективности бизнес-процессов управления ИТ авторы статьи предлагают разумные практические подходы к решению задачи, использующие знания, методики, приемы и инструменты, выработанные и апробированные за годы существования ИТ-службы во всем мире.

**Ключевые слова:** процессный подход, бизнес-процесс, управление информационным развитием предприятия, ИТ-инфраструктура, услуга ИТ-службы.

### Введение

В условиях современных тенденций развития предприятий, направленных на формирование конкурентных преимуществ и достижение стратегических целей за счет обеспечения гибкой и быстрой реакции на постоянно изменяющиеся воздействия рынка, особую значимость получает задача повышения эффективности управления предприятием.

Сегодня для предприятий со сложной организационной структурой, в рамках которой ответственной за выпуск конечного продукта или услуги распределяется между многими структурными подразделениями, традиционный функциональный подход к управлению, разработанный Адамом Смитом, перестает быть актуальным.

В рамках функционального подхода любая работа разбивается на простейшие задачи, выполняемые в определенных структурных подразделениях. Взаимодействие между структурными единицами в таких предприятиях осуществлялось через структурные элементы более высокого уровня. Недостатки функциональной модели:

- сложность объединения отдельных задач в технологию;
- отсутствие ответственного за конечный результат;
- высокие затраты на дополнительные этапы согласования, контроля, взаимодействия и т.п.;
- отсутствие ориентации на клиента<sup>1</sup>.

Одной из современных и наиболее эффективных технологий управления является процессный подход, позволяющий оптимизировать систему управления, сделать ее

---

<sup>1</sup> Здесь и далее по тексту под клиентом следует понимать не только внешнего заказчика товара, но и другое структурное подразделение предприятия.

прозрачной для руководства и способной гибко реагировать на изменения во внешней среде. Процессный подход декларирует смещение акцентов с управления структурными элементами предприятия на управление бизнес-процессами. Под бизнес-процессом понимается совокупность действий, продуцирующих результат, имеющий ценность для клиента.

### Постановка задачи

Сегодня роль информационных технологий в достижении стратегических целей предприятия и обеспечения его конкурентных преимуществ не вызывает сомнений. Преимущества процессной модели в управлении информационным развитием предприятия:

- интуитивная понятность и наличие прямых аналогий с процессами в других областях, хорошо понятных руководителям, не являющимся специалистами в сфере ИТ;
- закрепление бизнес-процессов за всеми ответственными подразделениями, а не за конкретным;
- организация взаимоотношений по принципу клиент–производитель;
- каждая созданная ценность поддается измерению: доход, степень удовлетворенности клиента.

Процессный подход позволяет на качественно новом уровне организовать деятельность ИТ-службы предприятия, определить связи информационного развития предприятия с его стратегией бизнеса, основными целями и задачами, а также сформировать понятийную базу и создать основу для общего языка, на котором могли бы продуктивно общаться представители бизнеса и ИТ-специалисты.

Итак, управление информационным развитием на разных предприятиях, несмотря на специфику каждого из них, имеет много общего. Чтобы увидеть, в чем состоит это общее, воспользуемся широко известной моделью бизнес-процессов Майкла Портера, называемой цепью наращивания стоимости. В общем виде модель бизнес-процессов ИТ-службы предприятия представлена на рис. 1.

Смысл цепочки наращивания стоимости заключается в разграничении основных и вспомогательных групп бизнес-процессов предприятия или отдельного структурного подразделения, деятельность которого рассматривается как оказание услуг бизнесу. Основные группы процессов наращивают стоимость производимому бизнесом продукту или услуге, вспомогательные – нет.

Услуга ИТ-службы – это предоставление информационного ресурса для решения производственной задачи. В современном понимании информационным ресурсом может быть: информационная система (ИС), аппаратное средство или человеческий ресурс в виде ИТ-специалиста. При этом необходимо понимать, что такой подход к управлению ИТ требует существования конечного и относительно стабильного перечня услуг, согласованных с бизнесом, и регламентированной ответственности за их реализацию.

Основные группы процессов ИТ-службы предприятия связаны с планированием, созданием, реализацией, сопровождением и развитием ИТ-услуг. Процессы из этих групп включают в себя тесное взаимодействие с заказчиками и пользователями, работающими в основных производственных направлениях деятельности предприятия.

Вспомогательные группы процессов связаны с созданием, поддержкой и развитием информационных ресурсов предприятия. Примерами могут служить группы процессов управления ИТ-инфраструктурой, процессы создания и сопровождения ИС и приложений, процессы обучения специалистов, а также группы процессов, которые

управляют использованием временно привлеченных информационных ресурсов, принадлежащих субподрядчикам, поставщикам и внешним аутсорсерам.



Рис. 1. Модель бизнес-процессов ИТ-службы предприятия

Отдельно необходимо выделить группу процессов стратегического планирования, определяющая долгосрочную политику развития услуг и связанных с ними информационных ресурсов. Такая политика должна быть увязана с корпоративной стратегией предприятия, основными целями и задачами бизнеса, как на текущий момент, так и в долгосрочной перспективе.

### Основной результат

Как же можно повысить результативность и эффективность основных и вспомогательных процессов управления ИТ?

Универсального алгоритма или готового рецепта на все случаи жизни, конечно, не существует. Тем не менее, можно предложить разумные практические подходы к решению задачи, использующие знания, методики, приемы и инструменты, выработанные и апробированные за годы существования ИТ-службы во всем мире.

Один из широко распространенных приемов улучшения состоит во внедрении в управленческую практику предприятия «лучших управленческих практик». С точки зрения процессного подхода к управлению ИТ лучшими практиками следует считать эталонные модели процессов, созданные в результате обобщения соответствующего мирового опыта. Эталонные модели существуют главным образом в форме международных стандартов, разрабатываемых международной организацией по стандартизации (ISO) и другими авторитетными международными и национальными



организациями. Эталонные модели процессов существуют, в частности, для таких групп процессов, как управление жизненным циклом ИС, практически для всех групп основных процессов, управления поставщиками и субподрядчиками.

Для понимания эталонных моделей процессов и их взаимосвязей руководителям полезно изучать так называемые методические справочники, где собраны и представлены в структурированном виде описания задач, понятий, объектов и процессов, имеющих отношение к той или иной сфере деятельности. К управлению ИТ, в частности, имеет самое непосредственное отношение методический справочник SWEBOOK (Software Engineering Body of Knowledge – объединение знаний по инженерии программного обеспечения). Также существует достаточно обширный корпус методических руководств, которые аккумулируют практический опыт решения управленческих. Такие руководства могут быть использованы при реализации таких процессов, как стратегическое управление, управление инвестициями и рисками, связанными с ИТ. Примерами могут служить следующие концепции: COBIT, VAL IT, RISK IT.

### Заключение

Несмотря на накопленный уже довольно серьезный опыт управления ИТ, сегодня можно лишь с известной осторожностью говорить о том, что сформировались лучшие или даже общепризнанные практики в этой области. В связи с этим важно понимать, что выводы о разумности или эффективности определенной практики или совокупности практик опираются на усредненные данные и не могут просто приниматься на веру в каждом конкретном случае. Задача организации управления ИТ всегда требует творческого подхода, а готовые практики и описывающие их процессы представляют только исходный материал для творчества.

### Литература

1. Бирюков А.Н.. Лекции о процессах управления информационными технологиями. – М.: Интернет-Университет Информационных технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
2. Васильев Р.Б., Калянов Г.Н., Левочкина Г.А., Лукинова О.В.. Стратегическое управление информационными системами: учебник. – М.: Интернет-Университет Информационных технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.

УДК 621.01

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИЛЬФОННЫХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Р.Я. Лабковская

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Л. Ткалич

Разработаны методы и алгоритмы нахождения собственных значений для анализа динамики и устойчивости упругих чувствительных элементов.

**Ключевые слова:** собственные значения, алгоритмы, геркон.

### Введение

Основой построения систем управления, как известно, являются первичные измерительные приборы, датчики, и исполнительные механизмы, управляемые системой по заданному алгоритму на основе информации, полученной от датчиков. Надежность каждого элемента системы управления определяет ее надежность в целом.

Вместе с тем точность функционирования автоматической системы управления в большей степени определяется первичными измерительными приборами, формирующими сигналы обратной связи. Тонкостенные упругие чувствительные элементы – сильфоны, воспринимающие измеряемую величину, являются одним из элементов таких первичных датчиков систем автоматического управления. Как правило, датчики на основе сильфонов преобразуют механическую величину деформации сильфона в электрическую. Часть первичного датчика, содержащая электрическую компоненту, имеет более высокую надежность по сравнению с механической надежностью непосредственно сильфона. С другой стороны, точность измерения также зависит от механических параметров измерительного сильфонного датчика, поэтому механические параметры сильфона и его надежность являются основой для построения высокоэффективных автоматических систем управления.

Сильфоны из полимерных и токопроводящих материалов находят широкое применение в промышленности при решении разнообразных технических задач. Они используются в качестве упругих чувствительных элементов в приборах различного назначения, выполняют функции компенсаторов тепловых расширений, разделителей сред, герметичных уплотнителей. В приборостроении сильфоны часто применяются в качестве чувствительных элементов в манометрах, манометрических термометрах, датчиках перемещения, датчиках дифференциального давления, в пневматической и гидравлической регистрирующей аппаратуре и пр. Сильфоны применяются в качестве гибких герметических перегородок, позволяющих передавать механические усилия и перемещения внутрь замкнутых объемов при сохранении их полной герметичности. В вакуумной технике сильфоны используются как механические вакуумные вводы. В последнее время значительно выросла доля сильфонов, используемых в составе различных датчиков автоматических систем управления.

Рост требований к датчикам, в первую очередь, к их метрологическим характеристикам и показателям надежности, делает актуальной проблему повышения качества сильфонных упругих элементов (СУЭ). Снижение материалоемкости конструкции, обеспечение заданного ресурса работы, необходимых параметров надежности и точности являются важнейшими условиями для вновь разрабатываемых элементов автоматических систем управления. Эти требования обусловили развитие расчетных и экспериментальных методов, которые легли в основу общей методологии проектирования новых типов датчиков.

Тем не менее, в настоящее время нет достаточно простого и удобного для практического применения аналитического метода расчета сильфонов. Для решения такой задачи чаще всего используются различные численные методы (метод конечных элементов, метод сечений). Существует значительное количество теоретических методов расчета сильфонов, обладающих разной степенью приближения (точности), однако создание единой модели расчета статики, динамики и надежности СУЭ, базирующейся на современных машинно-ориентированных средах, по-прежнему остается актуальной задачей.

СУЭ работают в различных жидких и газовых средах. Поэтому создание аналитического аппарата для описания характеристик влияния вязкой среды на динамику и на надежность работы гофрированной оболочки является крайне актуальной задачей. В уравнениях динамики, определяющих параметры движения упругого элемента в вязкой среде, инерциальные свойства жидкости выражаются через коэффициенты присоединенных масс.

Проведенный аналитический обзор патентной и научно-технической литературы показал, что корректной модели расчета присоединенных масс жидкости СУЭ в

настоящее время не существует. Поэтому разработка современных методов расчета присоединенных масс жидкости сильфонов является одной из актуальных задач.

### Заключение

Сформирована библиотека конечных элементов тонкостенных УЧЭ, состоящая из конечных элементов пластин и мембран. Показано, что при использовании моментной схемы конечных элементов повышается точность расчетов деформаций и напряжений тонкостенных УЧЭ на 5-7%.

### Литература

1. Лабковская Р.Я. Разработка математических моделей упругих чувствительных элементов систем управления // Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ магистров НИУ. – СПб: СПб НИУ ИТМО, 2011. – С. 97–98.
2. Ткалич В.Л., Лабковская Р.Я., Пирожникова О.И. Метод повышения надежности упругих чувствительных элементов систем управления и автоматики // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. №1(71). – С. 136–138.
3. Ткалич В.Л. Надежность магнитоуправляемых контактов в системах управления. Монография. – СПб., 2000. – 110 с.

УДК 681.532.65

## КОМПЕНСАЦИЯ ОШИБКИ ПОДРАЗБИЕНИЯ ДАТЧИКА УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТИПА RENISHAW В ПРЕЦИЗИОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

С.Ю. Ловлин, М.Х. Цветкова

Предлагается методика оценки и компенсации ошибок энкодера, вызванных несовершенством считывающей головки. Предложенный подход основан на частотном анализе ошибок замкнутой системы управления с оптическим датчиком при высоких скоростях вращения исполнительной оси. Приведен пример использования предложенной методики в электроприводе опорно-поворотного устройства телескопа траекторных измерений с оптическим энкодером фирмы RENISHAW.

**Ключевые слова:** прецизионный электропривод, оптический энкодер, интерполятор, ошибка подразбиения.

### Введение

Развитие и достижения естественных и технических (прикладных) наук и отраслей промышленности во многом связаны с прогрессом в повышении точности технологических процессов и измерений. Современные методы изготовления измерительной аппаратуры, оптических изделий, механической и лучевой обработки материалов, сборочные и манипуляционные процессы в большинстве случаев требуют управления механическим движением с высокой точностью при относительно больших перемещениях. Сфера применения прецизионного прямого электропривода теперь включает машиностроение, робототехнику, электронную индустрию, измерительную технику и специальные технические устройства [1].

Проектирование прецизионных электроприводов комплексов высокоточных наблюдений за космическими объектами требует решения широкого круга задач, связанных с необходимостью обеспечения высокоточного позиционирования, вращения оптической оси телескопа траекторных измерений (ТТИ) с инфранизкими угловыми скоростями при значительных величинах момента сопротивления на валу [2]. Обеспечение таких точностей возможно при использовании безредукторных следящих

электроприводов осей на основе вентильных двигателей (ВД) [1–6]. Неотъемлемой частью таких систем являются оптические энкодеры, обеспечивающие высокие точности измерения угловых перемещений.

Тем не менее, конструктивное обеспечение точности угловых перемещений редко бывает задачей, решаемой просто установкой энкодера, поэтому без понимания источников ошибок углового позиционирования добиться оптимальных технических характеристик всего устройства практически невозможно.

### **Источники угловых ошибок**

Угловой энкодер со встроенным подшипником соединен с валом, а его считывающая головка установлена на неподвижном элементе конструкции. Чтобы энкодер был в состоянии отслеживать реальное угловое положение исполнительного элемента, должны выполняться следующие условия:

1. В подшипниках, на которых установлены вращающиеся элементы системы, не должно быть радиального биения, которое неизбежно приводит к боковым смещениям осей вращения.

2. Не должно быть деформаций кручения вала, соединяющего контролируемый элемент с энкодером.

3. Конструкция соединительной муфты должна обеспечивать равенство угла поворота вала энкодера, имеющего отдельный подшипник, и угла поворота контролируемого элемента, установленного на своей системе подшипников. Иными словами, муфта должна обеспечивать передачу скорости без искажений.

4. Расстояние между соседними масштабными штрихами должно быть неизменным вдоль всей шкалы энкодера, а его считывающая головка должна обеспечивать линейную интерполяцию (подробнение) сигнала, соответствующего смещению на одно деление шкалы.

5. Шкала энкодера должна быть нанесена на идеальную окружность, центр которой находится на оси вращения, перпендикулярной плоскости шкалы.

6. Считывающая головка должна быть жестко установлена на неподвижную часть конструкции, причем так, чтобы при считывании оптического сигнала от масштабных штрихов отсутствовал параллакс и другие геометрические ошибки.

Если хотя бы одно из этих условий не выполнено, реальный угол поворота контролируемого элемента будет отличаться от показаний измерительной системы, в состав которой входит энкодер. Большинство из вышеперечисленных ошибок связаны с погрешностью установки и могут быть уменьшены при более точной установке.

Наибольший интерес представляют ошибки, вызванные несовершенством считывающей головки. Цена деления шкалы кругового энкодера, имеющей, например, 3600 масштабных штрихов, составляет  $0,1^\circ$  или 360 угловых секунд. Если требуется более высокое разрешение, то приходится прибегать к интерполяции. Любая нелинейность интерполяции ведет к возникновению периодической ошибки, которую также называют ошибкой подразбиения (sub-divisional error/SDE). Прецизионные следящие электропривода для оптико-механических систем обладают низкими частотами резонанса [7], поэтому такая ошибка при определенной скорости вращения может усугубить резонанс системы.

### **Способы компенсации ошибок**

Если ошибка энкодера превышает ошибку, заложенную в технические требования, предъявляемые ко всему устройству в целом, нужно или найти другой, более точный энкодер, (при условии, что он имеет приемлемую стоимость, срок поставки и вписывается в конструкцию устройства), или применить тот или иной метод

компенсации ошибок, чтобы ликвидировать недостаток точности изначально выбранного энкодера. Два наиболее эффективных метода компенсации ошибок – это использование нескольких считывающих головок в одном датчике угловых перемещений и калибровка датчика с помощью дополнительного устройства.

Использование двух диаметрально противоположных считывающих головок позволяет скомпенсировать эксцентриситет и другие нечетные составляющие повторяемой ошибки более высокого порядка. Основное достоинство этого метода состоит в том, что он не требует выполнять калибровку датчика, что выгодно как с точки зрения временных затрат, так и с точки зрения отсутствия необходимости разрабатывать методику калибровки. Увеличение числа считывающих головок позволяет еще больше уменьшить повторяемую ошибку, но усложнение конструкции и повышение ее стоимости, связанное с установкой более четырех головок, обычно не оправдывает получаемый выигрыш в точности. Этот метод также позволяет бороться с влиянием радиального биения подшипников на точность угловых измерений, однако для того, чтобы справиться с влиянием этого биения на точность углового позиционирования, как правило, требуются четыре считывающие головки или подшипник более высокого класса точности. В общем случае данный метод требует усложнение конструкции датчика, что неизбежно приводит к увеличению его размеров и стоимости.

Другой метод – строить и применять таблицы компенсации, как при использовании нескольких считывающих головок в одном датчике, так и в случае, если система управления сконфигурирована под использование только одной головки. Чтобы этот метод был эффективен, производитель комплектного оборудования должен откалибровать изготовленное устройство, в состав которого входит угловой энкодер, с помощью интерферометра или другого общепризнанного калибровочного оборудования. Данный метод требует дополнительные устройства, что несомненно увеличивает затраты на установку датчика.

Таблица компенсации может быть построена и без дополнительных устройств. Подробнее данный способ рассмотрен ниже.

### Построение таблицы компенсации без калибровочного оборудования.

В общем случае система управления прецизионным электроприводом имеет следующий вид (рис. 1), где объектом управления является ВД с усилительно-преобразовательным устройством и датчиками тока  $i(t)$ , скорости  $\omega(t)$  и угла  $a(t)$ . Обеспечение высокоточного позиционирования и слежения за заданием  $a_{зад}(t)$  осуществляется регулятором, вырабатывающим соответствующее управляющее воздействие  $u(t)$ . Настройка такого регулятора рассмотрена в [8].

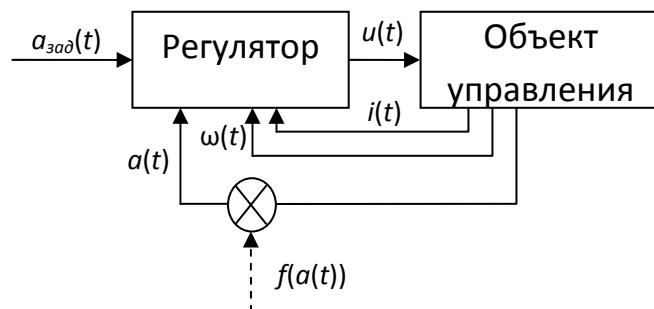


Рис. 1. Структурная схема системы управления прецизионным электроприводом.

Ошибка углового энкодера  $f(a(t))$  является конструктивной особенностью датчика, поэтому регулятор не в состоянии ее компенсировать. Она описывается периодической функцией с частотой основной гармоники  $2\pi/N$  рад/с, где  $N$  – количество масштабных штрихов. В ошибке возможна и вторая гармоника, поэтому в общем случае она описывается следующей функцией [9]:

$$\varepsilon(t) = c_1 \sin(N \cdot a(t) + \varphi_1) + c_2 \sin(2N \cdot a(t) + \varphi_2), \quad (1)$$

где  $c_1, \varphi_1, c_2, \varphi_2$  – параметры, которые необходимо определить.

Если колебания ошибки находятся в полосе пропускания замкнутой системы (а это обычно не более 20 Гц для электроприводов ОПУ телескопов тракторных измерений [7]), то она появится и на выходе системы. В то же время, если частота ее колебаний будет далеко за пределами полосы пропускания замкнутой системы, а амплитуда будет существенно выше амплитуды ошибок, вызванных несовершенством механики ОПУ, то мы ее увидим в виде рассогласования сигнала задания  $a_{зад}(t)$  и результирующего положения системы  $a(t)$ .

Определить амплитуду и фазу колебаний ошибки углового энкодера можно, построив преобразование Фурье сигнала  $e(t) = a_{зад}(t) - a(t)$  при движении электропривода с постоянной скоростью.

*Пример.*

Рассмотрим прецизионный электропривод с оптическим энкодером с 18000 масштабных штрихов и с разрешающей способностью 0,072 угл.сек. Полоса пропускания замкнутой системы управления 12 Гц. Результаты преобразования Фурье ошибки  $e(t)$  для скоростей вращения 1,5 град/с и 3 град/с изображены на рис. 2.

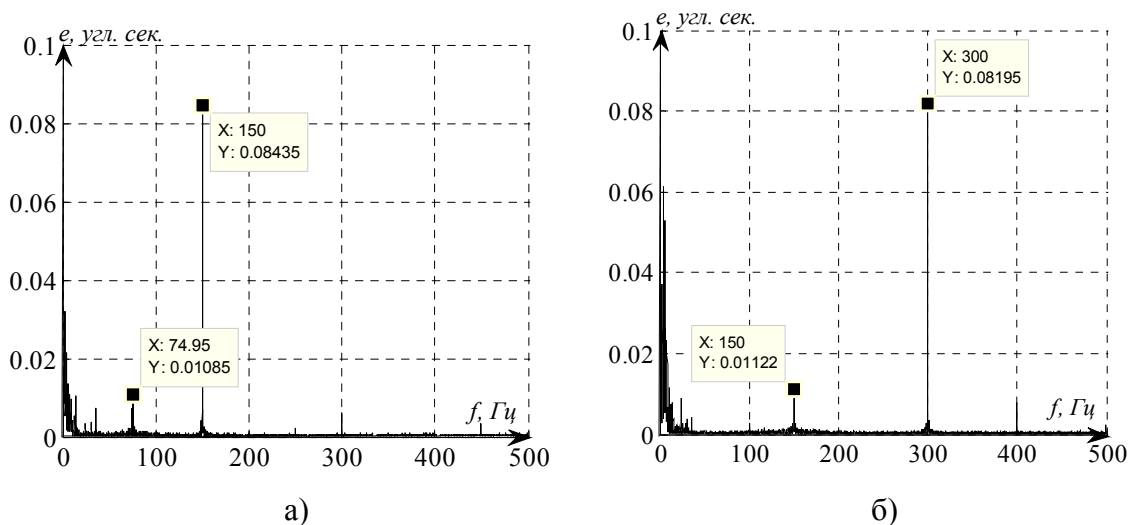


Рис. 2. Преобразование Фурье ошибки  $e(t)$  для скоростей вращения: 1,5 град/с (а) и 3 град/с (б).

Из рис. 2 видно, что колебания, вызванные несовершенством механики ОПУ существенно меньше ошибки  $\varepsilon(t)$  на ее частотах колебаний. На основании полученного преобразования нетрудно получить амплитуды и фазы основных гармоник ошибки. Однако, как показывает опыт, амплитуда колебаний также не является величиной постоянной (рис. 3).

Чтобы не запоминать огромное число точек реального графика амплитуды колебаний ошибки, его можно аппроксимировать методом наименьших квадратов (МНК). Например, график на рис. 3 можно аппроксимировать тремя синусоидами с постоянной составляющей. Пусть

$$H = \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{c_{21} \cdot \pi}{180}\right) & \sin\left(\frac{c_{21} \cdot \pi}{180}\right) & \cos\left(\frac{c_{21} \cdot \pi}{90}\right) & \sin\left(\frac{c_{21} \cdot \pi}{90}\right) & \cos\left(\frac{c_{21} \cdot \pi}{60}\right) & \sin\left(\frac{c_{21} \cdot \pi}{60}\right) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cos\left(\frac{c_{2n} \cdot \pi}{180}\right) & \sin\left(\frac{c_{2n} \cdot \pi}{180}\right) & \cos\left(\frac{c_{2n} \cdot \pi}{90}\right) & \sin\left(\frac{c_{2n} \cdot \pi}{90}\right) & \cos\left(\frac{c_{2n} \cdot \pi}{60}\right) & \sin\left(\frac{c_{2n} \cdot \pi}{60}\right) & 1 \end{bmatrix},$$

$$F = [a_1 \ \dots \ a_n],$$

$$X = (H^T H)^{-1} H^T F^T$$

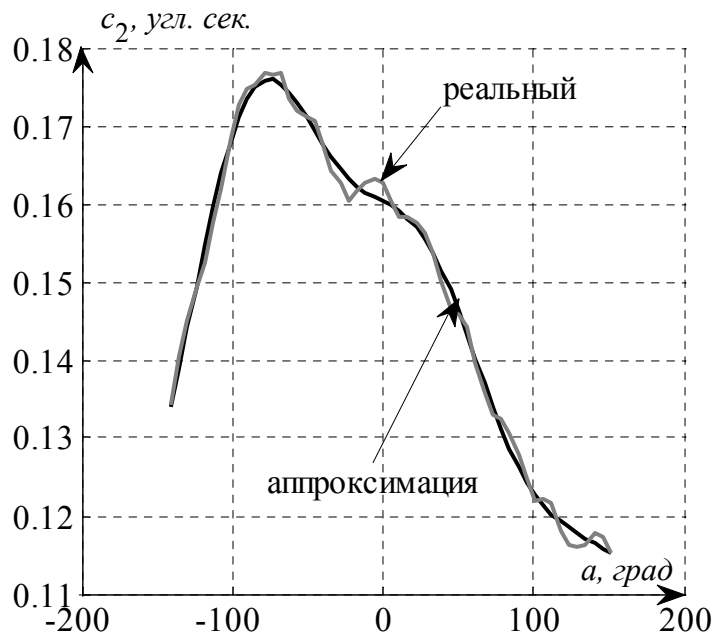


Рис. 3. Графики зависимости параметра  $c_2$  от угла положения ротора  $a$ .

Тогда

$$A_1 = \sqrt{X(1)^2 + X(2)^2},$$

$$A_2 = \sqrt{X(3)^2 + X(4)^2},$$

$$A_3 = \sqrt{X(5)^2 + X(6)^2},$$

$$\varphi_1 = \arctan\left(\frac{X(1)}{X(2)}\right),$$

$$\varphi_2 = \arctan\left(\frac{X(3)}{X(4)}\right),$$

$$\varphi_3 = \arctan\left(\frac{X(5)}{X(6)}\right).$$

Функция аппроксимации будет иметь вид

$$c_2^*(t) = A_1 \sin(a(t) + \varphi_1) + A_2 \sin(a(t) + \varphi_2) + A_3 \sin(a(t) + \varphi_3) + X(7).$$

Истинное значение угла может быть получено при решении нелинейного уравнения (1). Данное уравнение может быть решено методом неподвижной точки. Существует множество книг об этом методе и его сходимости, однако в нашем случае можно обойтись и первым приближением:

$$a(t) = a^*(t) - (c_1 \sin(N \cdot a^*(t) + \varphi_1) + c_2 \sin(2N \cdot a^*(t) + \varphi_2)), \quad (2)$$

где  $a^*(t)$  – значение угла, измеренное датчиком.

Действительно, амплитуда ошибки не превышает сотых долей периода второй ее гармоники. В такой ситуации погрешность решения в виде (2) будет измеряться в десятых долях процента от общей ошибки, что много меньше разрешающей способности оптического датчика.

### Заключение

Предложенная в статье методика позволила оценить и компенсировать ошибки энкодера, вызванные несовершенством считывающей головки. Данная методика не требует установки дополнительных считывающих головок, а также использования дополнительного калибровочного оборудования. Предложенный подход основан на частотном анализе ошибок замкнутой системы управления с оптическим датчиком при высоких скоростях вращения исполнительной оси.

Алгоритм нашел применение в системах управления прецизионными электроприводами квантово-оптических комплексов, разрабатываемых на кафедре ЭТ и ПЭМС СПб НИУ ИТМО по заказам Роскосмоса. Он также может найти широкое применение в станкостроении, робототехнике, оплотехнике, полиграфии и других сферах, где используется прецизионный электропривод.

### Литература

1. Балковой А.П., Цаценкин В.К. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 328 с. – ISBN 978-5-383-00457-9.
2. Васильев В.Н., Томасов В.С., Шаргородский В.Д., Садовников М.А. Состояние и перспективы развития прецизионных электроприводов комплексов высокоточных наблюдений // Изв. ВУЗов. Приборостроение. – 2008. – № 6. – С. 5–11.
3. Электропривод с вентильными двигателями // Докл. науч.-практ. семинара. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
4. Томасов В.С., Овчинников И.Е., Егоров А.В. Энергоподсистема большого алтайского телескопа траекторных измерений // Известия тульского государственного университета. – Издательство ТулГУ, 2010. – выпуск 3, часть 3. – с.216–222. – ISSN 2071-6168
5. Овчинников И. Е.. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность) // Курс лекций – СПб.: Издательство Корона-Принт, 2010. – 336 с. – ISBN: 5-7931-0344-9, 978-5-7931-0805-8, 978-5-7931-0899-7.
6. Сабинин Ю.А. Позиционные и следящие электромеханические системы: Учебное пособие для вузов. – СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отделение, 2001.
7. Толмачев В. А. Синтез следящего электропривода оси опорно-поворотного устройства // Изв. Вузов. Приборостроение. – 2008. – Т.51, №6. – С. 68–72.
8. Ловлин С.Ю., Цветкова М.Х., Демидова Г.Л. Синтез следящего электропривода азимутальной оси телескопа с эталонной моделью в контуре положения // Вестник ИГЭУ. – Иваново, 2011. – Вып. 2. – С. 77–81. – ISSN 2072-2672.
9. Yaguang Yang, Nick Rees, Tim Chuter. Reduction of encoder measurement errors in UKIRT telescope control system using a Kalman filter // IEEE Transactions on control systems technology. – 2002. – Vol. 10, No. 1. – pp. 149–157.



УДК 519.711.3 – 62.40

**АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КРУТЯЩИМ МОМЕНТОМ  
В ИНЖЕКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ****Д.Н. Герасимов, М.В. Лызлова**

Решается задача слежения крутящего момента в инжекторном двигателе внутреннего сгорания. В основе синтеза регулятора лежит параметрически и функционально неопределенная модель момента. Для достижения цели управления и компенсации неопределенностей модели используется алгоритм адаптивного управления с улучшенной параметрической сходимостью. Представлены результаты тестирования алгоритмов управления автомобиля Chevrolet Tahoe.

**Ключевые слова:** идентификация, адаптивное управление, двигатели внутреннего сгорания.

**Введение**

Разработка высокоточных и самокалибрующихся систем управления двигателями внутреннего сгорания (ДВС) является одним из приоритетных направлений в развитии современного автомобилестроения. Главными целями создания таких систем является оптимизация мощностных характеристик, экономия топлива, снижение выброса вредных веществ в атмосферу. В то же время не менее важным является сокращение времени производства двигателя, повышение срока его эксплуатации, а также обеспечение безопасности и комфорта водителя. Для улучшения топливно-экономических и мощностных показателей ДВС, а также снижения токсичности отработавших газов современные автомобили оснащены электронными системами управления дроссельной заслонкой (ЭСУЗД), которые плавно регулируют крутящий момент двигателя в зависимости от положения педали акселератора и текущего режима работы автомобиля. Кроме того, ЭСУЗД позволяют:

- поддерживать постоянный крутящий момент в режиме холостого хода двигателя или режиме круиз-контроль;
- сглаживать нажатие педали акселератора, обеспечивая тем самым плавное и свободное от вибраций поведение автомобиля;
- взаимодействовать с системами безопасности автомобиля и в случае экстренной ситуации ограничивать момент двигателя;
- компенсировать момент нагрузки, который вызван, например, переключением передач или неровностью дорожного покрытия.

Приведенный спектр задач, решаемых с помощью ЭСУЗД, сводится к задаче слежения крутящего момента за желаемым значением, которое в свою очередь и определяется спецификой конкретной функции системы управления. В связи с этим многофункциональность ЭСУЗД открывает широкие возможности по усовершенствованию ДВС для разработчиков систем автоматического управления.

подавляющее большинство решений по созданию ЭСУЗД основано на статических таблицах (в англоязычной литературе Look-up Tables), сформированные на этапе предварительной калибровки двигателя. В то же время двигатель работает, как правило, в динамических режимах в условиях действия возмущений. Кроме того, характеристики двигателя могут изменяться во времени. В этих условиях статические таблицы имеют существенные ограничения по качеству. Важно также отметить, что калибровка двигателя – это долгий процесс, занимающий месяцы, что также является еще одним недостатком этого метода.

Для увеличения точности работы ЭСУЗД важно компенсировать нелинейную динамику и неопределенности ДВС, обеспечить возможность самокалибровки двигателя в ходе его работы. За последние 20 лет было разработано большое количество методов и алгоритмов, позволяющих парировать те или иные проблемы управления моментом. В [1, 2] предлагаются методы теории линейных систем, в том

числе методы локальной линеаризации нелинейных моделей, в [3] предлагаются алгоритмы нелинейного управления на основе методов градиентного спуска, в [4] рассматриваются методы управления на основе прогнозирующих моделей, в [5] проблема управления моментом решается с помощью искусственных нейронных сетей, в статье [6] предложена итеративная процедура обучения регулятора, в [7] предложено решение задачи управления на основе принципа инверсной динамики и инверсной модели. Отличие предлагаемых алгоритмов управления моментов заключается в том, что лежащая в основе их синтеза нелинейная динамическая модель содержит параметрические и функциональные неопределенности, которые компенсируются в ходе работы двигателя с помощью метода адаптивного управления. Таким образом повышается точность работы системы и появляется возможность самокалибровки двигателя в ходе его эксплуатации. Предлагаемые результаты исследований апробируются с использованием автомобиля, Chevrolet Tahoe с восьми цилиндровым V-образным двигателем объемом 5,3 литра и мощностью 320 л.с.

Статья построена следующим образом. В первой части формулируется задача управления. Во второй части строится математическая модель крутящего момента, и анализируются ее свойства. В третьей части в предположении, что параметры модели известны формируется регулятор, обеспечивающий цель управления. Известные параметры именуется номинальными, а соответствующий регулятор, построенный на основе этой модели, - номинальным. В четвертой части параметры регулятора заменяются оценками, которые в свою очередь формируются алгоритмом адаптации. В последней части приводятся результаты тестирования адаптивной системы управления с использованием автомобиля Chevrolet Tahoe.

### Постановка задачи

Цель задачи управления заключается в компенсации нелинейной динамики и неопределенностей двигателя, возмущений и обеспечении целевого неравенства:

$$|M(t) - M^*(t)| < \Delta_M \quad \text{для всех } t > T_M, \quad (1)$$

где  $M(t)$  – усредненный за один цикл работы двигателя момент,  $M^*(t)$  – желаемый момент,  $T_M$  – время переходного процесса,  $\Delta_M$  – точность слежения. Эталонный сигнал является функцией положения педали акселератора, которое задается водителем автомобиля.

Сигналом управления в проектируемой системе является положение дроссельной заслонки во впускном коллекторе  $\alpha$ .

Предполагается, что регулятор топлива и регулятор угла опережения зажигания функционируют в рабочих режимах.

### Модель двигателя

На основе фундаментальных законов физики, описывающих аэродинамику течения воздуха во впускном коллекторе и процесс преобразования энергии горения в крутящий момент, формируется математическая модель момента [8, 9]. Модель оперирует переменными, усредненными за один цикл работы двигателя, и представляет собой последовательность преобразований сигнала управления  $\alpha$  в регулируемую переменную  $M$ .

Модель состоит из уравнения динамики давления воздуха во впускном коллекторе и уравнения эффективного момента двигателя.

Уравнение динамики давления воздуха в коллекторе:

$$\dot{P} + \eta_c(P, \omega) \frac{V_d \omega}{4\pi V_m} P = \frac{RT_m}{V_m} \eta_t(P) \varphi_1(P) \varphi_2(\alpha), \quad (2)$$

где  $P$  – давление воздуха во впускном коллекторе,  $\omega$  – скорость вращения коленчатого вала,  $\eta_c$  – эффективность наполнения цилиндров,  $\eta_t$  – эффективность дроссельной заслонки,  $V_m$  – объем впускного коллектора,  $T_m$  – температура воздуха во впускном коллекторе,  $V_d$  – объем двигателя,  $\varphi_1(P)$  – функция, найденная эмпирически,

$$\varphi_2(\alpha) = \frac{\pi D^2}{4} \left( 1 - \frac{\cos(\alpha)}{\cos(\alpha_0)} \right) \quad (3)$$

– площадь поперечного сечения открытой части патрубка с дроссельной заслонкой,  $D$  – диаметр патрубка с дроссельной заслонкой,  $\alpha_0$  – угол дроссельной заслонки, соответствующий полному закрытию патрубка заслонкой.

Уравнение эффективного момента:

$$M = \frac{V_d Q_{HV}}{4\pi R T_m F_S} \eta_f(\omega) \varphi_3(\lambda) \varphi_4(\theta_{ign}) P - M_L(\omega), \quad (4)$$

где  $Q_{HV}$  – теплотворная способность топлива,  $\eta_f(\omega)$  – эффективность сгорания топлива,  $\varphi_3$  и  $\varphi_4$  – эффективности момента по коэффициенту избытка воздуха и углу опережения зажигания соответственно,  $F_S$  – стехиометрическое соотношение воздух-топливо,  $M_L$  – момент внутреннего трения, определяемый эмпирической зависимостью вида:

$$M_L(\omega) = c_0 + c_1 \omega + c_2 \omega^2, \quad (5)$$

где  $c_0, c_1, c_2$  – постоянные параметры.

Модель представлена в непрерывной форме. В то же время измерение всех переменных модели производится дискретно, каждую четверть оборота коленчатого вала. В целях синтеза регулятора необходимо дискретизировать модель. Время дискретизации выбирается из расчета:

$$\tau(k) = \frac{450}{\pi \omega(k)},$$

где  $k$  – шаг дискретного времени, соответствующий одной четверти оборота коленчатого вала.

Учитывая последнее замечание и применяя метод интегрирования Эйлера, перепишем выражение (2) в следующем виде:

$$P(k+1) = \left( 1 - \eta_c(P(k), \omega(k)) \frac{15V_d}{4\pi V_m} \right) P(k) + \frac{15RT_m}{\omega(k)V_m} \eta_t(P(k)) \varphi_1(P(k)) \varphi_2(\alpha(k)). \quad (6)$$

Введем обозначения:

$$f1(\omega, \lambda, \theta_{ign}) = \frac{V_d Q_{HV}}{4\pi R T_m F_S} \eta_f(\omega) \varphi_3(\lambda) \varphi_4(\theta_{ign}), \quad f2(P, \omega) = 1 - \eta_c(P, \omega) \frac{15V_d}{4\pi V_m},$$

$$f3(P) = \frac{15RT_m}{V_m \omega(k)} \eta_t(P) \varphi_1(P), \quad f4(\omega) = c_0 + c_1 \omega + c_2 \omega^2,$$

тогда модель представляется в следующем компактном виде:

$$P(k+1) = f2(k)P(k) + f3(k) \frac{\varphi_2(\alpha(k))}{\omega(k)}, \quad (7)$$

$$M(k) = f1(k)P(k) - f4(k). \quad (8)$$

Для идентификации функций  $f_1, f_2, f_3, f_4$  производится разложение этих функций в ряды Тейлора по своим аргументам, после чего выражения (7) и (8) представляются в формах линейной регрессии:

$$P(k+1) = \theta_{1...6}^T \xi_{1...6}(k) P(k) + \theta_{7...11}^T \xi_{7...11}(k) \frac{\varphi_2(\alpha(k))}{\omega(k)}, \quad (9)$$

$$M(k) = \psi_{1...10}^T \mathcal{G}_{1...10}(k) \cdot P(k) - \psi_{11...13}^T \mathcal{G}_{11...13}(k), \quad (10)$$

где  $\theta_{1...6} \in R^6$ ,  $\theta_{7...11} \in R^4$ ,  $\psi_{1...10} \in R^{10}$ ,  $\psi_{11...13} \in R^3$  – компоненты вектора неизвестных параметров  $\theta \in R^{11}$  и  $\psi \in R^{13}$ .

Параметры модели находятся с помощью линейных регрессионных моделей (9), (10) и метода наименьших квадратов [11]. Функции  $\omega_p, \omega_M$  алгоритма формируются на основе переменных, измеренных в ходе FTP18 теста автомобиля Chevrolet Tahoe.

После идентификации параметров в среде MatLab/Simulink произведена проверка модели момента (10), в которой переменная  $P(k)$  генерируется уравнением (9).

Результаты проверки модели момента приведены на рис. 1. Известные параметры двигателя в выражении (3) имеют следующие значения:  $\alpha_0 = 0,035 \text{ рад (2 град)}$ ,  $D = 6,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ .

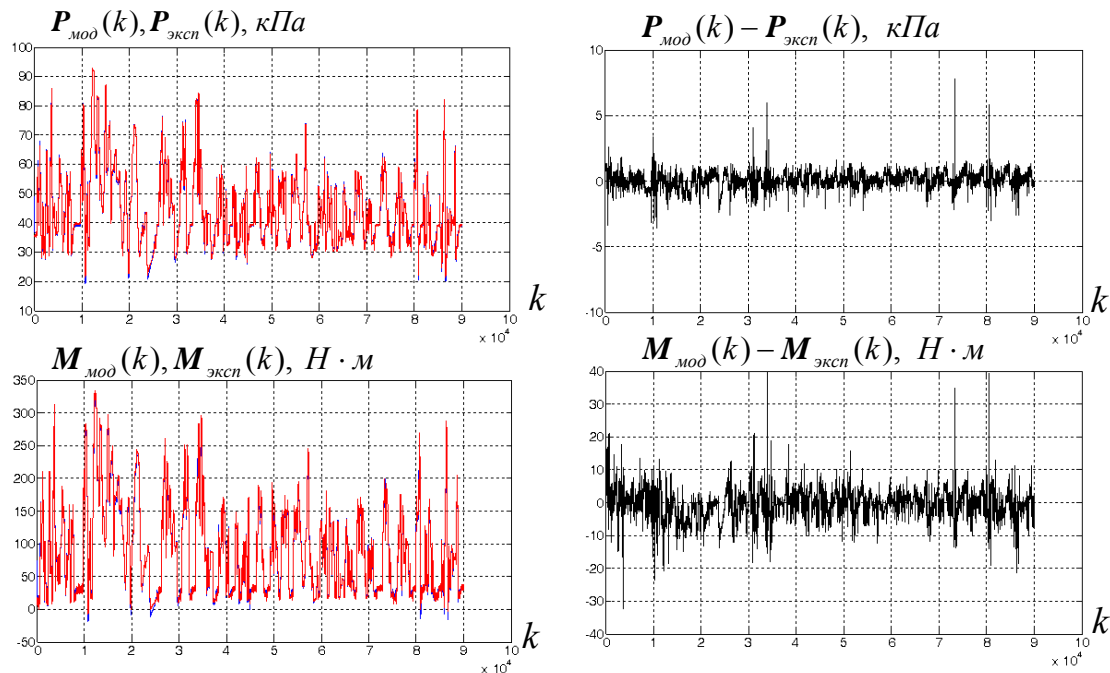


Рис. 1. Результаты проверки модели крутящего момента двигателя автомобиля Chevrolet Tahoe

На рисунке введены следующие обозначения:  $P_{\text{мод}}, M_{\text{мод}}$  – давление воздуха в коллектор и момент, генерируемые (9) и (10) соответственно;  $P_{\text{эксп}}, M_{\text{эксп}}$  – экспериментальные данные.

Результаты эксперимента иллюстрируют точность подсистемы давления (9) около 8% и точность уравнения момента (10) около 12%. Важно отметить, что в режимах быстрых изменений давления и момента возникает наивысшая погрешность, которая соотносится с заявленной точностью управления 10-15%. В связи с чем возникает необходимость в коррекции коэффициентов модели и повышения ее точности с использованием методов адаптивной идентификации.

**Синтез номинального регулятора**

Пусть параметры модели (9), (10) известны и равны номинальным. Сформируем эталонную модель:

$$P^*(k+1) = \sigma P^*(k) + (1-\sigma)P_{ж}^*(k), \quad (11)$$

где  $P_{ж}^*$ ,  $P^*$  – вход и выход эталонной модели соответственно,  $\sigma \in [0,1)$  – параметр эталонной модели, на основе которого задается время переходного процесса в замкнутой системе. Величина  $P_{ж}^*$  связана с желаемым значением крутящего момента посредством уравнения (10) следующим образом:

$$P_{ж}^*(k) = \frac{M^*(k) + \psi_{11...13}^T \mathcal{G}_{11...13}(k)}{\psi_{1...10}^T \mathcal{G}_{1...10}(k)}. \quad (12)$$

Сформируем ошибку управления

$$\varepsilon(k) = P^*(k) - P(k) \quad (13)$$

и введем закон изменения этой ошибки, соответствующий ее экспоненциальному затуханию:

$$\varepsilon(k+1) = \sigma \varepsilon(k). \quad (14)$$

Тогда, учитывая (9), (13) и (14), получаем:

$$\sigma P^*(k) + (1-\sigma)P_{ж}^*(k) - \theta_{1...6}^T \xi_{1...6}(k)P(k) + \theta_{7...11}^T \xi_{7...11}(k) \frac{\varphi_2(\alpha(k))}{\omega(k)} = \sigma P^*(k) - \sigma P(k),$$

откуда следует, что

$$\varphi_2(\alpha(k)) = \frac{\omega(k)}{\theta_{7...11}^T \xi_{7...11}(k)} \left[ (\sigma - \theta_{1...6}^T \xi_{1...6}(k))P(k) + (1-\sigma)P_{ж}^*(k) \right].$$

Принимая во внимание (3), окончательно получаем номинальный закон управления:

$$\alpha(k) = \frac{4}{\pi D^2} \text{Arccos} \left\{ 1 - \frac{\omega(k)}{\theta_{7...11}^T \xi_{7...11}(k)} \left[ (\sigma - \theta_{1...6}^T \xi_{1...6}(k))P(k) + (1-\sigma)P_{ж}^*(k) \right] \right\}. \quad (15)$$

Таким образом, номинальный закон управления представлен уравнениями (11), (12), (15). Закон обеспечивает устойчивость замкнутой системы и экспоненциальное затухание ошибки  $\varepsilon(k)$ , что эквивалентно обеспечению цели управления (1).

**Синтез адаптивного управления**

Предположим теперь, что параметры объекта управления неизвестны. Для физической реализации выражений (12), (15) закона управления  $\theta$  и  $\psi$  заменяются на оценки  $\hat{\theta}$  и  $\hat{\psi}$  соответственно. Таким образом, формируется настраиваемый закон управления в виде:

$$\alpha(k) = \text{Arccos} \left\{ 1 - \frac{\omega(k)}{\hat{\theta}_{7...11}^T \xi_{7...11}(k)} \left[ (\sigma - \hat{\theta}_{1...6}^T \xi_{1...6}(k))P(k) + (1-\sigma)P_{ж}^*(k) \right] \right\}, \quad (16)$$

$$P_{ж}^*(k) = \frac{M^*(k) + \hat{\psi}_{11...13}^T \mathcal{G}_{11...13}(k)}{\hat{\psi}_{1...10}^T \mathcal{G}_{1...10}(k)}, \quad (17)$$

Для идентификации неизвестных параметров, содержащихся в векторах  $\theta$ ,  $\psi$ , на основе представления модели момента (9), (10) формируется настраиваемая модель:

$$\hat{P}(k+1) = \hat{\theta}_{1...6}^T(k) \xi_{1...6}(k) \hat{P}(k) + \hat{\theta}_{7...11}^T(k) \xi_{7...11}(k) \varphi_2(\alpha(k)), \quad (18)$$

$$\hat{M}(k) = \hat{\psi}_{1...10}^T(k) \mathcal{G}_{1...10}(k) \cdot P(k) - \hat{\psi}_{11...13}^T(k) \mathcal{G}_{11...13}(k), \quad (19)$$

где  $\hat{\theta}_{1...6}$ ,  $\hat{\theta}_{7...11}$ ,  $\hat{\psi}_{1...10}$ ,  $\hat{\psi}_{11...13}$  – оценки неизвестных параметров  $\theta_{1...6}$ ,  $\theta_{7...11}$ ,  $\psi_{1...10}$ ,  $\psi_{11...13}$  соответственно.

Введем в рассмотрение ошибки идентификации:

$$\varepsilon_P(k) = P(k) - \hat{P}(k), \quad (20)$$

$$\varepsilon_M(k) = M(k) - \hat{M}(k), \quad (21)$$

где  $\hat{P}(k)$ ,  $\hat{M}(k)$  – оценки  $P(k)$ ,  $M(k)$ , генерируемые настраиваемой моделью (18), (19). С учетом (9), (10) и (18), (19) соотношения (4.5), (4.6) представим в следующей форме:

$$\varepsilon_P(k) = \tilde{\theta}^T(k) W(k), \quad \varepsilon_M(k) = \tilde{\psi}^T(k) \Phi(k), \quad (22)$$

где  $W^T = [\xi_{1...6}^T P \quad \xi_{7...11}^T \varphi_2(\alpha) / \omega]^T$ ,  $\Phi^T(k) = [\mathcal{G}_{1...10}^T \cdot P - \mathcal{G}_{11...13}^T]^T$  – векторы измеряемых функций (регрессоров). Модель ошибки (22) позволяет использовать алгоритм идентификации, описанный в [13]:

$$\begin{cases} \hat{\theta}(k+1) = \hat{\theta}(k) + Proj_{\Omega} \left\{ \gamma_P(k) (R_P(k) - P_P(k) \hat{\theta}(k)) \right\}, & \hat{\theta}(0), \\ R_P(k+1) = \mu R_P(k) + W(k) P(k), & R_P(0) = 0, \\ P_P(k+1) = \mu P_P(k) + W(k) W^T(k), & P_P(0) = 0, \\ \gamma_P(k) = \rho_P (\sigma_P I + P_P(k))^{-1}, \end{cases} \quad (23)$$

где  $\rho_P, \rho_M \in (0, 1]$ ,  $\sigma_P, \sigma_M$  – параметры алгоритмов.

Для уравнения момента алгоритм формируется идентичным способом.

Алгоритм (23) имеет следующие свойства [13]:

1. Все сигналы настраиваемой модели (18), (19) с алгоритмом (23) ограничены;
2. Ошибки  $\varepsilon_P$ ,  $\varepsilon_M$  стремятся к нулю асимптотически;
3. Параметрические ошибки  $\tilde{\theta}(k)$ ,  $\tilde{\psi}(k)$  стремятся к нулю асимптотически, если матрицы  $P_P(k)$ ,  $P_M(k)$  не вырождены;
4. Скорость сходимости, значения перерегулирования алгоритмов регулируется коэффициентами  $\rho_P$ ,  $\rho_M$ ,  $\sigma_P$  и  $\sigma_M$ . При увеличении  $\rho_P$ ,  $\rho_M$  и снижении  $\sigma_P$ ,  $\sigma_M$  скорость сходимости увеличивается.

Таким образом, адаптивный регулятор момента, обеспечивающий цель управления (1), представлен настраиваемым законом управления (16), (17) и алгоритмом адаптации (23).

Для проверки работы алгоритма управления был подготовлен практический эксперимент, в котором был задействован автомобиль Chevrolet Tahoe с 8-цилиндровым V-образным двигателем объемом 5,3 литра. Тест длился 7,5 мин, что соответствует примерно 40000 событиям.

Результаты теста приведены на рис. 2. Для удобства восприятия на рисунке показаны только первые три оценки параметров векторов  $\theta$ ,  $\psi$  (из 24-х). При этом оценки, полученные в ходе эксперимента (показаны черным цветом), сравниваются с оценками, полученными в ходе моделирования (показаны серым цветом).

В ходе тестирования удалось обеспечить качество слежения момента с максимальной ошибкой 14% от максимального значения  $M^*$  (максимальная ошибка в статических режимах составила не более 5%), а также соответствие с результатами моделирования.

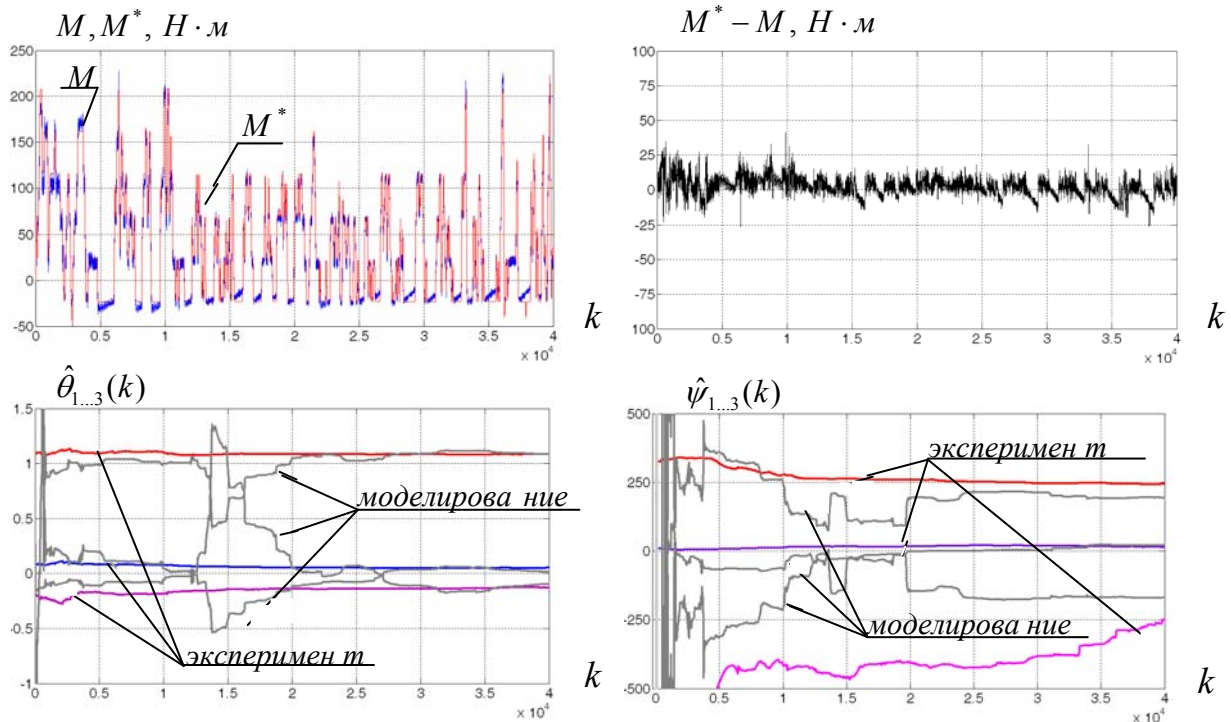


Рис. 2. Результаты тестирования автомобиля Chevrolet Tahoe с адаптивным регулятором момента

### Заключение

В статье предлагается решение задачи адаптивного управления крутящим моментом инжекторного двигателя внутреннего сгорания. В основе синтеза регулятора лежит параметрически и функционально неопределенная модель момента, связывающая управляющую и регулируемую переменные. Для достижения цели управления и компенсации неопределенностей модели используется метод адаптивного управления. Представлены результаты моделирования в среде MatLab/Simulink и результаты тестирования автомобиля Chevrolet Tahoe.

### Литература

1. Stefanopoulou A. G., Grizzle J. W. and Freudenberg J. S. Engine Air-Fuel Ratio and Torque Control using Secondary Throttles // Proc. of the 33<sup>rd</sup> Conf. on Decision and Control. 1994. P. 2748-2753.
2. Ali A, Blath J.P. Nonlinear Torque Control of a Spark-Ignited Engine // Proc. of the American Control Conf. 2006. P.3266-3271.
3. Kolmanovsky I.V., Druzhinina M. and Sun J. Speed-Gradient Approach to Torque and Air-to-Fuel Ratio Control in DISC Engines // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2002. V.10. P.671-678.
4. Vermillion C., Butts K., Reidy K. Model Predictive Engine Torque Control with Real-Time Driver-in-the-Loop Simulation Results // American Control Conf. 2010. P.1459-1464
5. Javaherian H., Liu D., Kovalenko O. Automotive Engine Torque and Air-Fuel Ratio Control Using Dual Heuristic Dynamic Programming // International Joint Conf. on Neural Networks. 2006. P.518-525.

6. Nagata T., Tomizuka M. Robust Engine Torque Control by Iterative Learning Control // American Control Conf. 2009. P.2064-2069.
7. Gerasimov D.N., Javaherian H., Nikiforov V.O. Data Driven Inverse-Model Control of SI Engines // Proc. American Control Conf. 2011. P. 426–431.
8. Герасимов Д. Н., Джавахериан Х., Ефимов Д. В. и др. Инжекторный двигатель как объект управления: I. схема двигателя и синтез математической модели // Известия РАН. Теория и системы управления. № 5, Сентябрь-Октябрь 2010, С.135-147.
9. Двигатели внутреннего сгорания // В 3 кн. Кн.1 Теория рабочих процессов: Учебник для ВУЗов / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.; Под ред. В.Н. Луканина. —М.: Высшая школа. 2005. С.479.
10. Kim Y.W., Rizzoni G. and Utkin V.I. Automotive Engine Diagnosis and Control via Nonlinear Estimation // IEEE Control Systems. 1998. October. P. 84–99.
11. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя : пер. с англ. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. С.432.
12. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами / Серия “Анализ и синтез нелинейных систем”; под общей редакцией Леонова Г.А. и Фрадкова А.Л. — СПб.: Наука, 2000. С.549.
13. Kreisselmeier G. Adaptive observers with exponential rate of convergence // IEEE Trans. on Automatic control. 1977. V.22. P.2-8.

УДК 004.5, 004.6

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ СРЕДА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ГРУППОВОЙ УЧЕБНОЙ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

**А.В. Лямин, А.А. Порфилов**

Один из способов поддержки учебных групповых проектов по разработке ПО — создание специальной информационной среды на базе системы управления проектами и задачами. Она должна быть интегрирована с учебным процессом: поддерживать организационную структуру курсов (потoki, учебные программы, группы и т. д.) и автоматизировать оценивание. Оценки формируются из индивидуальной и групповой составляющих на основе задач, опросников и анкет.

**Ключевые слова:** проекты, программирование, оценивание, поддержка, учебный процесс, управление задачами

### **Введение**

Дисциплины, связанные с программированием и разработкой программного обеспечения (ПО), должны включать в себя проектную деятельность учащихся и отработку умений работать над проектом в коллективе. При реализации этих требований в виде заданий в форме групповых проектов как перед студентами, так и перед преподавателями встают проблемы организации взаимодействия и объективного оценивания. Одно из возможных решений – создание специальной поддерживающей информационной среды, краткому описанию концепции которой посвящена статья.

### **Концепция информационной среды**

**Система управления проектами и задачами.** В соответствии с описанными в статье [1] моделями малого и большого проекта для применения в учебном процессе предлагается в качестве ядра информационной среды использовать систему управления проектами и задачами. Подобные системы (JIRA, BugTracker.NET, Bugzilla, Redmine,



Трас и др.) применяются во всех компаниях, занимающихся разработкой ПО. Технология работы с ними в общих чертах:

- формируются команды разработчиков и назначаются на выполнение проектов;
- вводятся этапы разработки и крайние сроки;
- разработка планируется и ведется посредством управления задачами;
- результаты работ загружаются через СУВ (системы управления версиями).

**Планирование и выполнение проектов.** Одна из частых проблем при выполнении студентами учебных проектов – непропорциональное распределение нагрузки. Основной объем работ выполняется перед крайним сроком, что отрицательно сказывается и на качестве работы, и на целях обучения. Причина – отсутствие четкого плана и сроков, а для группы – низкий уровень взаимной ответственности и плохое управление распределением обязанностей. Работа в системе управления задачами позволяет в какой-то мере обойти эти проблемы.

При создании проекта устанавливается набор этапов с заданными крайними сроками и требованиями к результатам. Этапы планируются в соответствии с выбранной моделью жизненного цикла ПО. Обычно рассматривают [2] три модели: каскадную, итеративную и спиральную. В обучении чаще всего применяется классическая каскадная модель, но для групповых проектов эффективнее применять итеративные модели, в которых программный продукт проходит несколько версий, постепенно реализуя конечные требования проекта. Использование таких моделей позволяет активизировать деятельность студентов и управлять траекторией обучения (так как конечная цель – не создание полноценного продукта, а обучение технологиям программирования и работа над проектом в коллективе) по результатам предшествующих выполненным этапам.

На более низком уровне планирование проводится в рамках одного этапа. Единицей работы выступает задача. Разбиение этапа на задачи и их распределение между членами команды координирует и направляет текущую деятельность студентов.

**Интеграция с учебным процессом.** Несмотря на рассмотренные выше концептуальные преимущества ведения учебных проектов в системах управления проектами и задачами, в своем исходном виде эти системы непригодны для внедрения в реальный учебный процесс. В первую очередь это связано с поддержкой организационной структуры процесса и с обеспечением контроля и оценивания работы учащихся. Следуя подходам из статей [1, 3], можно выработать представленную на рис. 1 организационную структуру курсов с применением групповых проектов.

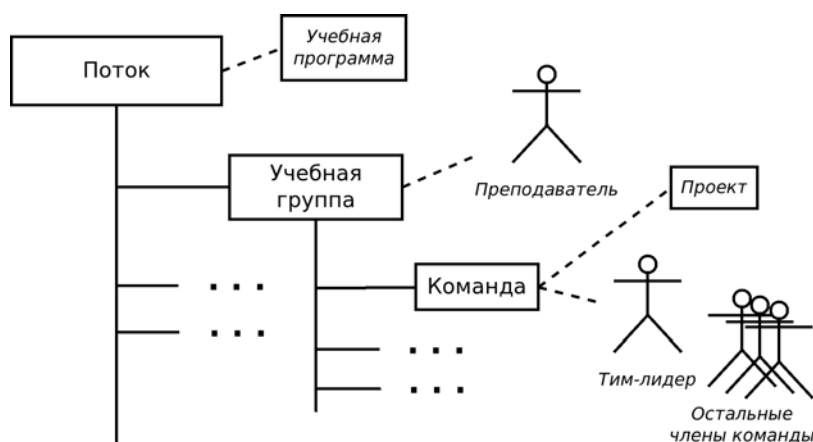


Рис. 1. Организационная структура

Несколько учебных групп обучаются в потоке по общей учебной программе, определяющей специфику проектной деятельности в рамках конкретной дисциплины. Группы разбиваются на команды по 3–5 человек. Команда работает над одним проектом. В команде один студент назначается старшим – тим-лидером. Менеджером всех проектов в рамках одной учебной группы выступает преподаватель этой группы.

В соответствии с членством и ролями пользователей в группах и командах система должна управлять их правами на различные действия и на доступ к данным.

Вторая важная составляющая интеграции с учебным процессом – автоматизация контроля и оценивания. При этом если оценка итогового программного продукта может оставаться полностью или частично получаемой от эксперта – преподавателя, то проведение оценивания индивидуального вклада в проект каждого из членов команды должно быть максимально обеспечено средствами системы. Возможные источники данных и методы формирования оценок будут рассмотрены в следующем разделе.

Наконец, следует учесть, что в некоторых образовательных учреждениях уже функционируют образовательные информационные системы, такие как СДО (системы дистанционного обучения). Система управления проектами может взаимодействовать с ними, получая списки учебных групп, выгружая результаты оценивания и т. д.

**Архитектура информационной среды.** В соответствии с рассмотренной концепцией информационной среды для ее реализации может быть использована архитектура, представленная на рис. 2.

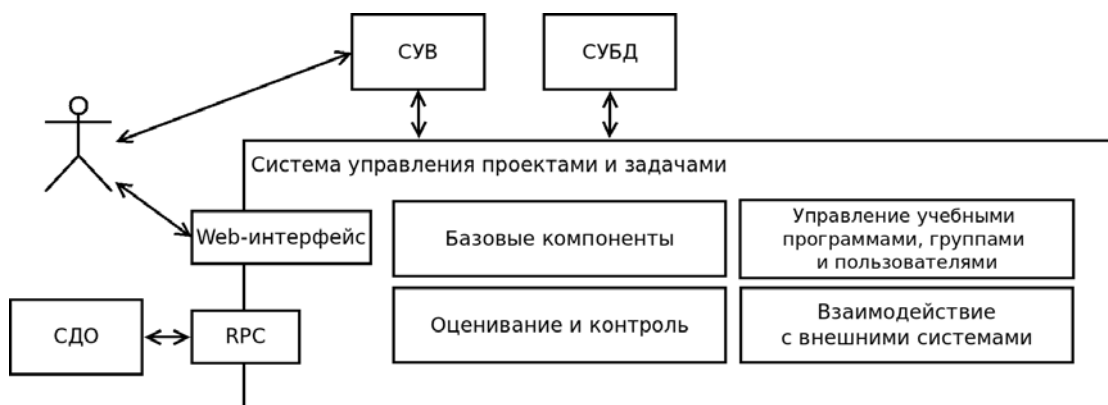


Рис. 2. Архитектура информационной среды

В качестве ядра выступает система управления проектами и задачами с компонентами, реализующими базовую функциональность: управление тикетами, планирование, взаимодействие с СУБ и СУБД, предоставление Web-интерфейса и др. Расширяются компоненты управления группами и пользователями для обеспечения поддержки выбранной организационной структуры. Разрабатываются модули контроля и оценивания, предоставляющие измерительные инструменты, поддерживающие создание моделей оценивания, по которым на основе собранных данных будут формироваться оценки учащихся, и обеспечивающие мониторинг текущей деятельности пользователей. Создаются модули для взаимодействия с внешними системами с использованием протоколов удаленного вызова процедур (RPC).

### Модель оценивания

**Структура модели.** Учебные групповые проекты с точки зрения технологии обучения сочетают в себе обучение в сотрудничестве и метод проектов. Ключевым принципом в первом является взаимозависимость участников обучения [4], которая,

помимо единого задания, достигается общей оценкой работы группы. Поэтому первый компонент модели оценивания – групповая оценка (ГО) как показатель качества конечного результата проекта и общекомандных достижений. Второй компонент – индивидуальная оценка (ИО), характеризующая индивидуальный вклад в проект и личностные характеристики.

Итоговая оценка (ИТО) учащегося формируется из комбинации групповой и индивидуальной оценок. Причем комбинация может представлять собой простое суммирование двух оценок с разными весами [1] либо суммирование, при котором групповая оценка одновременно является верхним порогом индивидуальной оценки [3]:  $ИТО = ВесГО \cdot ГО + (ГО / МаксГО) \cdot ВесИО \cdot ИО$ . Учет групповой оценки в итоговой поддерживает взаимную ответственность в команде, а индивидуальной — сохраняет состязательность.

Следующий аспект модели – поддержка многобалльных и многомерных шкал измерений в соответствии с современной тенденцией в области оценивания результатов обучения [5]. Модель должна оценивать индивидуальную и групповую работы по разным критериям с возможностью комбинации полученных оценок в итоговой.

Наконец, непосредственное проведение измерений и оценивание, как и любой процесс педагогических измерений по [5], должен включать в себя:

- выбор латентных характеристик объектов (переменных измерения);
- выбор эмпирических референтов и шкал измерения;
- выбор измерительных процедур и построение измерительных инструментов.

Таким образом, модель оценивания складывается из средств измерения, переменных (первичных и производных) и констант (веса, множители и т. д.).

**Средства и методы измерения.** По проведенным за рубежом исследованиям [6] по применяемым в системах коллаборативного обучения с компьютерной поддержкой CSCL (а среду для поддержки групповых учебных проектов можно отнести к этому классу) методам измерений были выделены следующие их категории:

- самоотчеты и опросы участников обучения (вопросники и анкеты);
- наблюдения (исследование действий и высказываний участников);
- обработка данных (учет времени, последовательности и прочих данных, по которым оценивается деятельность участников);
- обсуждения и диалоги (содержательные целевые обсуждения и словесные высказывания в ходе асинхронного и синхронного взаимодействия);
- активность и результаты (все результаты деятельности участников);
- обратная связь и прогнозы (индивидуальные отзывы преподавателей по индивидуальной и групповой работе; отзывы участников по деятельности членов их групп; прогнозы по качеству результатов совместной деятельности).

Основной источник данных по индивидуальному вкладу в системе управления задачами – задачи с наборами их свойств, а также этапы разработки. Например, по предложенному в статье [1] подходу каждой задаче в ходе работы назначается статус: «новая», «завершена», «невалидная» и пр. На этой основе по завершении каждого этапа  $M_k$  группой  $G_i$  автоматически формируется групповая оценка завершенности этапа:

$$(R_A)_{MkGi} = \frac{\sum_{m \in A_1} T_m}{\sum_{n \in A_2} T_n},$$

где  $A_1$  — множество всех завершенных задач этапа,  $A_2$  — множество всех валидных (выполненных или запланированных к исполнению) задач.

По аналогии с оцениванием учащихся по достигнутым целям обучения [7], преподаватель по заранее заданным критериям  $Z_k$  с соответствующими им весами  $w_{Zk}$  оценивает по 100-балльной шкале групповую работу команды и полученный результат за этап  $M_k$  (или за весь проект), формируя экспертную оценку:

$$(R_H)_{MkGi} = \frac{\sum_{Z_k} \frac{(R_H)_{Zk}}{100} \cdot w_{Zk}}{\sum_{Z_k} w_{Zk}}.$$

Итоговый групповой рейтинг рассчитывается как сумма автоматически рассчитанной и экспертной оценок с заданными весами  $w_{RA} + w_{RH} = 1$ :

$$R_{Gi} = \left[ w_{RA} \cdot \frac{\sum_{M_k} (R_A)_{Mk} \cdot w_{Mk}}{\sum_{M_k} w_{Mk}} + w_{RH} \cdot \frac{\sum_{M_k} (R_H)_{Mk} \cdot w_{Mk}}{\sum_{M_k} w_{Mk}} \right] \cdot 100\%,$$

где  $w_{Mk}$  – веса этапов разработки по их значимости, сложности или другим показателям.

По данным, собранным из свойств задач, также формируется индивидуальная оценка студента. Каждой задаче присваивается значение от 1 до 10 по сложности  $p$  и по приоритету  $d$ . Эти значения перемножаются, к ним добавляется модификатор  $m$ , служащий для назначения штрафа или бонуса. Значение делится на число  $N_{Ti}$  назначенных на выполнение задачи учащихся и получается ее итоговая стоимость:

$$T_i = (p \cdot d + m) / N_{Ti}.$$

По завершении этапа для студента  $s$  рассчитывается его индивидуальная оценка:

$$(I_A)_{sMkGi} = \min \left[ 1; \frac{\sum_{l \in C_s} T_l}{(I_T)_{MkGi}} \right],$$

где  $C_s$  — множество всех завершенных задач, выполненных студентом  $s$ ,  $(I_T)_{MkGi} = (\sum_{l \in A} T_l) / N_{Gi}$  — целевая сумма баллов по задачам из множества  $A$  валидных задач для команды размером  $N_{Gi}$ .

Итоговый индивидуальный рейтинг рассчитывается по аналогии с групповым – сложением с весами индивидуальных оценок, полученных разными методами.

Методы оценивания групповых и индивидуальных результатов могут быть расширены введением дополнительных свойств задач. Например, новое свойство «Тип деятельности» (проектирование, документирование, тестирование и др.) позволяет задать обязательные минимумы для разных типов деятельности таким образом, что студент не получит положительной оценки, если не выполнит заданное количество задач каждого типа. В представленной концепции модели оценивания эта идея реализуется введением новой переменной «Показатель выполнения обязательных минимумов» с возможными значениями от 0 до 1. В дальнейшем переменная используется как множитель в другой переменной – индивидуальной оценке студента.

Дополнительным инструментом для оценки личного вклада могут быть количественные опросники для взаимного оценивания [3]. По завершении каждого этапа учащиеся распределяют сумму  $E$  между членами команды на основании

собственного представления о их вкладе в проект:  $i$ -ый член группы выделяет  $j$ -ому члену сумму  $E_{ij}$ . Тогда индивидуальная оценка студента  $s$  в группе  $G_i$  по данному опроснику рассчитывается по следующей формуле:

$$(I_E)_{sMkGi} = \min \left[ 1; \left( \sum_{l \in G_i} E_{ls} \right) / E \right].$$

Еще одним альтернативным способом получения данных для оценивания является электронное анкетирование. Анкеты могут использоваться преподавателем для формирования групповых оценок и как компонент для формирования индивидуальных оценок. Например, они могут быть использованы для выявления поведенческих характеристик [3], оценить которые способны только непосредственно взаимодействующие участники. С заданной частотой они заполняют анкеты на себя и других членов команды, отвечая «всегда» (2), «обычно» (1), «иногда» (0), «редко» (-1), «никогда» (-2) на вопросы типа: оцените себя / члена команды по критериям «активное участие в обсуждениях», «помощь/консультирование членов команды» и др. После этого ответы по каждому студенту усредняются и используются в переменных модели.

### Заключение

Применение рассмотренной информационной среды для поддержки учебной групповой проектной деятельности в области разработки ПО может значительно упростить использование заданий формата групповых проектов в учебном процессе, одновременно обогащая опыт студентов работой со специализированными системами. Однако для каждой учебной программы, определяющей особенности учебных проектов, должна быть разработана согласованная с экспертами модель оценивания индивидуальной и групповой деятельности учащихся. А от поддерживающей информационной среды в свою очередь требуется предоставление гибкого универсального инструментария для создания таких моделей.

### Литература

1. Coppit, D. Implementing large projects in software engineering courses / David Coppit // Computer Science Education. – 2006. – Vol. 16, № 1. – P. 53-73.
2. Орлик, С. Основы программной инженерии (по SWEBOK) [Электронный ресурс] / Орлик С., Булуй Ю. – 2010. – Режим доступа: <http://swebok.sorlik.ru>, свободный.
3. Clark, N. Self and peer assessment in software engineering projects / Nicole Clark, Pamela Davies, Rebecca Skeers // ACE'05 Proceedings of the 7th Australasian conference on Computing education. – 2005. – Vol. 42. – P. 91–100.
4. Полат Е.С. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования : учеб. пособие / Е.С. Полат, М.Ю. Бухаркина, М.В. Моисеева, А.Ю. Петров. – 3-е изд., доп. и испр. – М. : Издательский центр "Академия", 2008. – 272 с.
5. Звонников, В.И., Челышкова М.Б. Контроль качества обучения при аттестации : компетентностный подход / В.И. Звонников, М.Б. Челышкова; Гос. ун-т управления. – М. : Логос, 2009. – 271 с.
6. Gressb, C. Measurement and assessment in computer-supported collaborative learning / Carmen L.Z. Gressb, Meghann Fiora, Allyson F. Hadwina, Philip H. Winneb // Computers in Human Behavior. – 2010. – Vol. 26, № 5. – P. 806–814.
7. Pournaghshband, H., Movafaghi, S. Individual's evaluation in courses with team projects / Hassan Pournaghshband, Shahriar Movafaghi // Proceedings of the 2006 International Conference on Frontiers in Education: Computer Science & Computer Engineering. – 2006. – P. 123–128.

УДК: 004.9

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ МАССОВОГО ПАРАЛЛЕЛИЗМА OPENCL ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММ

**И.А. Манушин, Б.Д. Кудряшов**

За последнее время мощности мобильных устройств существенно возросли. Следовательно, для них ставятся новые задачи обработки данных. Одна из таких задач – трансляция видеопотока в высоком качестве в реальном времени. Мобильные устройства содержат внутри себя так же видеопроцессор, что позволяет его использовать в качестве дополнительного вычислительного модуля.

**Ключевые слова:** OpenCL, H.264/SVC, GPU, сжатие видео.

Вычислительные мощности современных смартфонов являются достаточными для кодирования и декодирования видео высокого разрешения (720p). Исходя из этого, встает новая задача – кодировать и декодировать видео в режиме реального времени с малой задержкой между получением изображения с камеры и окончанием его кодирования. С помощью полученного решения можно в дальнейшем создавать видеоконференции в высоком разрешении, используя мобильные платформы. Следовательно, необходимо ускорить кодек H.264/SVC до скорости работы в режиме реального времени для заданного оборудования для мобильной платформы MeeGo.

Заданное мобильное устройство содержит процессор Intel Atom (архитектура x86, одно ядро, тактовая частота 1 ГГц) и видеопроцессор PowerVR (четыре независимых ядра, тактовая частота каждого – 1 ГГц) от фирмы Imagination Technologies Ltd. Следовательно, для ускорения обработки видео можно использовать вычислительные мощности видеочипов. В дальнейшем планировалось использовать устройства с более мощными видеочипами. Для использования вычислительных мощностей видеопроцессора на заданной операционной системе (MeeGo) можно использовать две технологии - OpenGL или OpenCL. В первом случае следует представлять изображение в виде текстуры и использовать текстурные шейдеры для обработки. Во втором случае операции могут выполняться просто с массивом байт, как и на центральном процессоре. Следовательно, для обработки данных, не относящихся к выводу на экран, удобнее использовать технологию OpenCL. Также стоит отметить, что эту технологию поддерживает большинство современных видеочипов для персональных компьютеров, следовательно, на конечном устройстве можно запускать уже готовый код (проверенный и исправленный).

В случае использования технологии OpenCL все запуски функций на видеочипе происходят массово – не менее 32 параллельных потоков [1], причем все потоки всегда обрабатывают одновременно одну и ту же инструкцию. Эта особенность OpenCL присутствует только при выполнении кода на видеочипах и является следствием того, что видеочипы имеют именно такую архитектуру, так как она упрощает разработку чипов и является удобной для создания шейдеров [2].

Работа кодера стандарта H.264/SVC представляет собой конвейер для каждого изображения: последовательно происходят вычисления ряда алгоритмов. Следует отметить, что в результирующем кодеке был убран алгоритм определения компенсации движения, так как кодек планировалось использовать для кодирования видеоконференций, следовательно, фон для видеопотока остается статичным на всем протяжении видеотрансляции. Поэтому компенсация движения не давала существенного выигрыша в качестве кодирования и добавляла трудоемкие операции при кодировании.

Главное отличие кодера H.264/SVC от H.264/AVC – в том, что при обработке одного кадра используется сразу несколько изображений: оригинальное, а также изображения, полученные уменьшением оригинального в  $2^2$ ,  $2^4$ ,  $2^6$  и т.д. [3].

Соответственно, добавляется дополнительная операция по сжатию кадра по горизонтали и по вертикали. Именно эта операция была наиболее трудоемкой (с учетом отсутствия операции компенсации движения). Поэтому было решено сделать модуль, отвечающий за сжатие изображения на GPU.

При реализации данного алгоритма на технологии OpenCL наиболее узким местом, с точки зрения производительности, оказалось обращение к памяти. Поэтому алгоритм неоднократно корректировался, чтобы все ядра использовали общий кеш. Также процедура выполнения кода была исправлена с учетом внутренней архитектуры видеочипа PowerVR, чтобы исключить условные переходы в разные точки функции для отдельных ядер, если они работают параллельно.

После оптимизации модуля на видеопроцессоре вычисления данного алгоритма стали производиться в три раза быстрее, чем при использовании центрального процессора. Произведенные исследования были предоставлены Intel (заказчику). Полученный кодек работал в 1.5 раза быстрее, чем аналогичный, разрабатываемый компанией Intel, при сходных параметрах качества кодирования.

### Литература

1. The OpenCL Specification [Электронный ресурс]: Khronos OpenCL Working Group, 2011.
2. POWERVR SGX Series5XT (Overview) [Электронный ресурс]: Imagination Technologies Ltd., 2012.
3. Iraide Unanue, Inigo Urteaga, Ronaldo Husemann, Javier Del Ser, Valter Roesler, Aitor Rodriguez and Pedro Sanchez - A Tutorial on H.264/SVC Scalable Video Coding and its Tradeoff between Quality, Coding Efficiency and Performance; ISBN 978-953-307-181-7: InTech, July 2011

УДК 535.371

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА МАТРИЧНОМ АНАЛИЗАТОРЕ

**Ф.В. Молев, И.А. Коняхин**

Проведено моделирование алгоритмов работы трех методов для определения координат изображения. Выбран наиболее оптимальный метод для использования при анализе реального изображения.

**Ключевые слова:** регистрация изображения, ПЗС матрица, центр пятна рассеяния, метод средневзвешенного, метод медиан, метод аппроксимации гауссоидой

### Введение

В настоящее время при разработке оптико-электронных комплексов различного назначения ужесточаются требования к точности определения внутренних микроподвижек оптических компонентов, приводящих к рассогласованию взаимного положения элементов оптической системы [1]. В большинстве случаев для контроля этих микроподвижек используются автоколлимационные изображения. Координаты автоколлимационных изображений позволяют определить возможные микродеформации оптических компонентов и в дальнейшем их компенсировать.

В данной работе проводится анализ алгоритмов, предназначенных для определения координат автоколлимационных изображений.

### Описание алгоритмов

Для обеспечения субпиксельных измерений точность воспроизведения топологических размеров фоточувствительных элементов (пикселей) ФППЗ должна

быть достаточно высока. Поскольку современные технологии позволяют обеспечить геометрический шум и систематическую погрешность воспроизведения размеров одного пикселя на уровне 0,2–0,3 мкм, следовательно, ошибка определения координат из-за погрешности воспроизведения структуры ФППЗ может составить 0,5 мкм. К примеру, если рассматривать ФППЗ «Каскад-М» формата 512×512 элементов с размером пикселя 16×16 мкм, то погрешность определения координат будет ограничиваться значением в 1/32 пикселя.

При выборе алгоритма вычисления координат были исследованы три метода: метод средневзвешенного, метод медиан и метод аппроксимации гауссоидой.

**Метод средневзвешенного.** Вычисление координат энергетического центра пятна рассеяния по методу средневзвешенного производится по следующим формулам [2, 3]:

$$i_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^k n(i, j) i}{\sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^k n(i, j)}, \quad (1)$$

$$j_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^k n(i, j) j}{\sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^k n(i, j)}, \quad (2)$$

где  $i_{ц}$ ,  $j_{ц}$  – координаты энергетического центр пятна рассеяния по строке и столбцу соответственно,  $i$  – номер элемента в строке,  $j$  – номер строки в кадре,  $k$  – количество строк в кадре,  $z$  – количество элементов в строке,  $n(i, j)$  – заряд пикселя с координатами  $(i, j)$ .

**Метод медиан.** Вычисление координат медианы можно описать следующим образом. На первом этапе происходит суммирование заряда, зарегистрированного в пикселе, отдельно по строкам и столбцам матрицы ФППЗ. Соответственно,

$$SumX_i = \sum_{i=1}^m E_{i,j}, \quad (3)$$

$$SumY_j = \sum_{i=1}^m E_{i,j}. \quad (4)$$

Параллельно вычисляется суммарный заряд всей матрицы:

$$E_{сум} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{i,j}. \quad (5)$$

Затем производится поиск в полученных строке  $SumX_i$  и столбце  $SumY_j$  координат энергетического центра пятна рассеяния ( $X_{ц}$  и  $Y_{ц}$ ) с точностью до пикселя, и определяется  $t_x$  и  $t_y$  – координаты энергетического центра пятна рассеяния внутри найденного ранее пикселя с точностью 1/D, где D – точность определения. Для этого необходимо провести суммирование элементов строк  $SumX_i$  и столбцов  $SumY_j$  до момента, когда  $S_x$  и  $S_y$  не станут больше  $E_{сум}/2$ , данные вычисления можно описать следующими выражениями:

$$S_x = \sum_{i=1}^{X_{ц}} \sum_{tx=1}^D \frac{SumX_i}{D}, \quad (6)$$

$$S_y = \sum_{j=1}^{Y_{ц}} \sum_{ty=1}^D \frac{SumY_j}{D}. \quad (7)$$

**Метод аппроксимации гауссоидой.** Этот метод основан на аппроксимации массива интенсивностей пикселей, формирующих изображение пятна рассеяния,



распределением Гаусса. Функция Гаусса, как известно, описывается следующим соотношением:

$$f(x, y) = k \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\left(\frac{(x-\mu_x)^2 + (y-\mu_y)^2}{2\sigma_x^2}\right)}, \quad (8)$$

где  $\mu_x$  и  $\mu_y$  – математические ожидания,  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  – среднеквадратические отклонения по осям  $x$  и  $y$  соответственно,  $k$  – коэффициент учитывающий яркость источника.

Последовательно варьируя значения переменных  $k$ ,  $\mu_x$ ,  $\mu_y$ ,  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  вычисляются значения функции и сравниваются с имеющимся массивом значений интенсивности до достижения минимального отклонения.

Для анализа и сравнения трех методов расчета проведено моделирование в среде MathCad. Моделирование пятна рассеяния производилось двухмерным нормальным распределением [1].

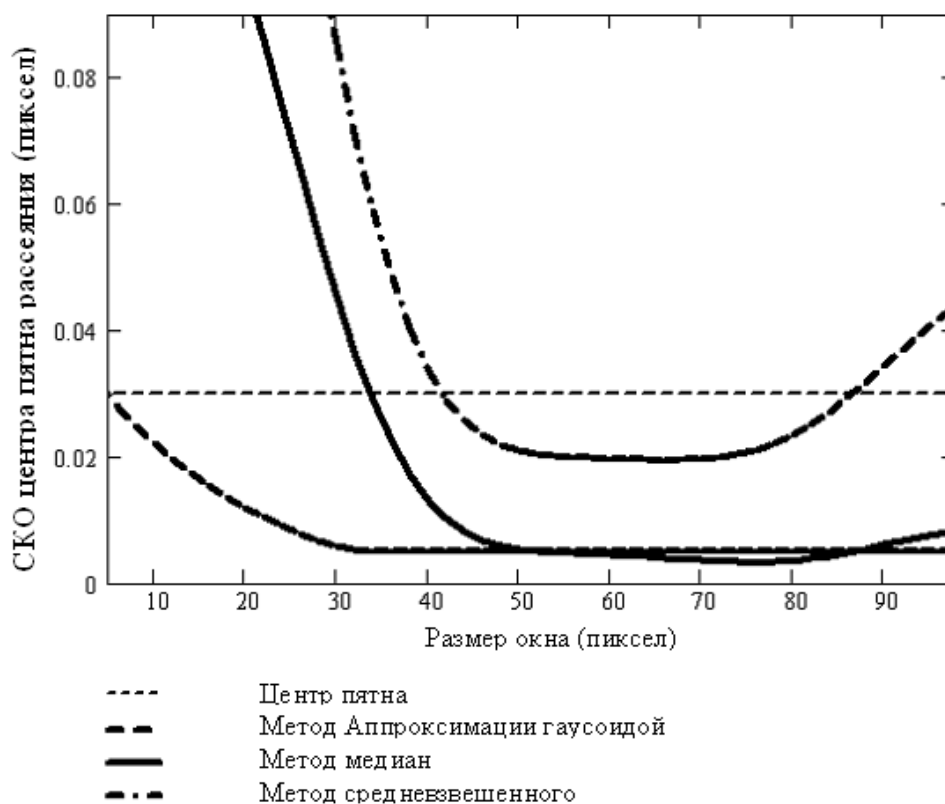


Рис. 1 Зависимость отклонения координат пятна рассеяния от размера окна

На графике (рис. 1) представлены зависимости среднеквадратического отклонения координат энергетического центра пятна рассеяния (при отношении сигнал/шум = 25) от размеров окна, в котором производится вычисление. На графике (рис. 2) представлены зависимости среднеквадратического отклонения координат энергетического центра пятна рассеяния от отношения сигнал/шум для трех методов.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- метод медиан и метод аппроксимации гауссоидой имеют меньшую погрешность определения координат;
- точность метода медиан менее зависима от размеров окна по сравнению с методом средневзвешенного;
- точность метода аппроксимации гауссоидой практически инвариантна относительно размеров окна;

- метод аппроксимации гауссоидой наименее зависим от отношения сигнал/шум.

Окончательный выбор метода расчета координат должен производиться на основе анализа требований к разрабатываемой служебной системе.

Если в разрабатываемой системе обеспечивается отношение сигнал/шум более 30, то рационально использовать метод медианы, обеспечивающий в этих условиях, во-первых, более высокую точность, чем метод средневзвешенного, и, во-вторых, обладающий большим быстродействием по сравнению с алгоритмом на основе аппроксимации гауссоидой.

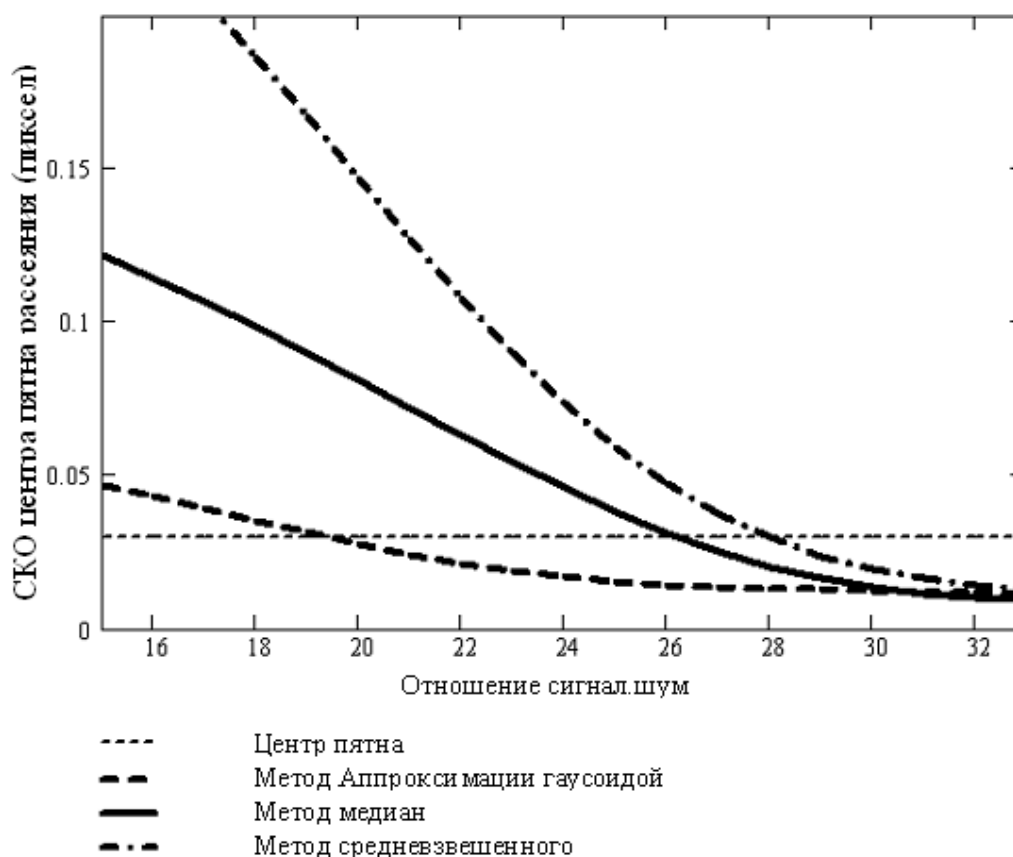


Рис. 2 Зависимость отклонения координат пятна рассеяния от отношения сигнал/шум

### Заключение

В представленной работе произведен анализ трех алгоритмов поиска координат энергетического центра пятна рассеяния: метод средневзвешенного, метод «медианы» и метод аппроксимации гауссоидой. Наилучшие результаты при обработке смоделированных пятен рассеяния получены при аппроксимации гауссоидой и при методе медиан. Поскольку метод аппроксимации гауссоидой является наиболее ресурсоемким, то вычисление координат в реальном времени является трудно реализуемым. Этот метод рационально использовать при небольшом отношении сигнал/шум и низких требованиях к быстродействию.

### Литература

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576с.
2. Коняхин И.А., Панков Э.Д. Трехкоординатные оптические и оптико-электронные угломеры: Справочник. - М.: Недра, 1991. - 224 с.
3. Коротаев В.В., Краснящих А.В. Телевизионные измерительные системы / Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 108 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В САПР ТП****Ю.С. Морозов****Научный руководитель – к.т.н., доцент А.Н. Филиппов**

Рассматриваются облачные технологии и перспективы их применения в САПР ТП.

**Ключевые слова:** облачные технологии, системы автоматизированного проектирования, виртуальное предприятие, Интернет.**Введение**

Последнее время все чаще можно услышать термин «облачные технологии» и «облачные вычисления». Так что же такое «облачные технологии»? Википедия дает такое описание: «Облачные вычисления (англ. cloudcomputing) – технология распределенной обработки данных, в которой компьютерные ресурсы и мощности предоставляются пользователю как интернет-сервис».

Широко распространенное формальное определение облачных вычислений было предложено Национальным институтом стандартов и технологий США: «Облачные вычисления представляют собой модель для обеспечения по требованию удобного сетевого доступа к общему пулу настраиваемых вычислительных ресурсов (например, сетей, серверов, систем хранения данных, приложений и услуг), которые можно быстро выделить и предоставить с минимальными управленческими усилиями или минимальным вмешательством со стороны поставщика услуг».

Для того чтобы понять, что такое «облако», стоит начать с истории данного вопроса. Необходимо понять, действительно ли эта технология находится в разряде новых идей или эта идея не так уж и нова.

Идея того, что сейчас мы называем облачными вычислениями, впервые была озвучена Джозефом Карлом Робнеттом Ликлайдером (J.C.R. Licklider) в 1970 году, когда он был ответственным за разработку ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network). Идея Линклайдера заключалась в том, что каждый человек будет подключен к сети, из которой он будет получать не только данные, но и программы. Другой ученый, Джон Маккарти (John McCarthy), говорил о том, что вычислительные мощности будут предоставляться пользователям как услуга (сервис). На этом развитие облачных технологий было приостановлено до 90-х годов.

**Облачные технологии в настоящее время**

Как и любые технологии, облачные технологии имеют как свои достоинства, так и недостатки. К основным достоинствам можно отнести следующие:

- Доступность – «облака» доступны всем и везде, где есть Интернет и с любого устройства, где есть браузер;
- Низкая стоимость – снижение расходов на обслуживание (использование технологий виртуализации), оплата лишь фактического использования ресурсов облака пользователем (позволяет экономить на покупке и лицензировании программного обеспечения), аренда «облака», развитие аппаратной части вычислительных систем;
- Гибкость – неограниченность вычислительных ресурсов (виртуализация);
- Надежность – специально оборудованные центры обработки данных имеют дополнительные источники питания, регулярное резервирование данных, высокая пропускная способность Интернет-канала, устойчивость к DDOS-атакам;
- Безопасность – высокий уровень безопасности при грамотной организации, однако, при халатном отношении эффект может быть противоположным;
- Большие вычислительные мощности – пользователь может использовать все доступные в «облаке» вычислительные мощности.

При всех своих достоинствах облачные технологии имеют ряд серьезных недостатков:

- Постоянное соединение с сетью – для работы с «облаком» необходимо постоянное подключение к сети;
- Программное обеспечение – пользователю доступно только то программное обеспечение, которое есть в «облаке», а также пользователь не может настраивать приложения под себя;
- Конфиденциальность – в настоящее время нет технологии, обеспечивающей стопроцентную конфиденциальность данных;
- Надежность – потеря информации в «облаке» означает невозможность ее восстановления;
- Безопасность – хотя «облако» является достаточно надежной системой, но в случае проникновения злоумышленника, ему будет доступен огромный объем данных;
- Дороговизна оборудования – для создания своего «облака» необходимы значительные материальные ресурсы.
- Облачные технологии имеют обширный спектр услуг, которыми может воспользоваться пользователь для решения конкретных задач. Ниже приведены основные виды предоставляемых услуг облачными системами.
- Все как услуга (Everything as a Service) – при таком подходе пользователю будет доступно все от программно-аппаратной части до управления бизнес-процессами, включая взаимодействие между пользователями. Все, что требуется от пользователя – это доступ в сеть Интернет.
- Инфраструктура как услуга (Infrastructure as a Service) – пользователю доступна только компьютерная инфраструктура (как правило, виртуальные платформы, связанные в сеть), которую он сам настраивает под свои нужды.
- Платформа как услуга (Platform as a Service) – пользователю доступна компьютерная платформа с установленной операционной системой и, возможно, программным обеспечением.
- Программное обеспечение как услуга (Software as a Service) – пользователю доступно программное обеспечение, развернутое на удаленных серверах, доступ к которому осуществляется через сеть Интернет. Такой вид услуги подразумевает оплату только лишь за фактическое пользование программным обеспечением, а все вопросы по лицензированию и обновлению программного обеспечения лежат на поставщике данной услуги.
- Аппаратное обеспечение как услуга (Hardware as a Service) – пользователю предоставляется оборудование на правах аренды, которое он может использовать в своих целях. Данный вид услуги очень похож на услуги «Инфраструктура как сервис» и «Платформа как сервис», за исключением того, что пользователь имеет доступ только лишь к оборудованию, на которое он сам устанавливает все программное обеспечение.
- Рабочее место как услуга (Workplace as a Service) – компания организует рабочие места для своих сотрудников, устанавливая и настраивая все необходимое программное обеспечение.
- Данные как услуга (Data as a Service) – пользователю предоставляется дисковое пространство для хранения информации.
- Безопасность как услуга (Security as a Service) – позволяет пользователям развертывать продукты, обеспечивающие безопасность веб-технологий, переписки, локальной системы.

Облачные сервисы, предоставляющие те или иные виды услуг, в свою очередь, делятся на три категории: публичные, частные и гибридные.

Публичное «облако» – ИТ-инфраструктура, которую используют множество компаний и сервисов. Пользователи при этом не могут управлять и обслуживать данное «облако», вся ответственность по этим вопросам лежит на владельце «облака». Абонентом может стать любая компания, а также любой индивидуальный пользователь. «Облака» такого типа предлагают легкий и доступный в цене способ развертывания веб-сайтов или бизнес-систем с большими возможностями масштабирования, которые недоступны в «облаках» других типов. Примеры – онлайн-сервисы Amazon EC2 и Simple Storage Service (S3), Google Apps/Docs, Salesforce.com, Microsoft Office Web.

Частное облако является полной противоположностью публичному.

Публичное облако (англ. *public cloud*) – инфраструктура, предназначенная для свободного использования широкой публикой. Публичное облако может находиться в собственности, управлении и эксплуатации коммерческих, научных и правительственных организаций (или какой-либо их комбинации). Публичное облако физически существует в юрисдикции владельца – поставщика услуг.

Гибридное облако (англ. *hybrid cloud*) – это комбинация из двух или более различных облачных инфраструктур (частных, публичных или общественных), остающихся уникальными объектами, но связанных между собой стандартизованными или частными технологиями передачи данных и приложений (например, кратковременное использование ресурсов публичных облаков для балансировки нагрузки между облаками).



Рис. 1. Гибридная модель

### Современные тенденции и перспективы развития

Сегодня облачные вычисления – это то, чем почти каждый пользуется ежедневно. Подыскав в интернете подходящий сервис для ежедневного пользования, большинство из которых бесплатны или стоят относительно дешево, пользователь избавляет себя от необходимости покупать более новые компьютеры для обеспечения высокой

производительности, от сложностей в настройке сложных систем и покупки дорогих программных пакетов.

Облачные технологии развиваются стремительно и охватывают все больше и больше сфер деятельности. Одна из наиболее перспективных сфер применения – виртуальные производства. Виртуальное предприятие – это предприятия, состоящие из сообщества географически разделенных организаций, которые взаимодействуют в процессе производства, используя преимущественно электронные средства коммуникаций. В состав виртуального предприятия входят следующие участники:

- предприятие-организатор кооперационной сети, осуществляющий поиск сторонних подрядчиков на реализацию различных видов работ;
- потенциальные исполнители различных видов работ и услуг;
- поставщики различных материалов, стандартных деталей и узлов;
- заказчики, участвующие в формировании технических требований к изделию;
- потребители, принимающие участие в тестировании опытных образцов изделия.

Виртуальное производство может осуществляться с помощью облачных технологий. Пример такого производства представлен на рис. 2.

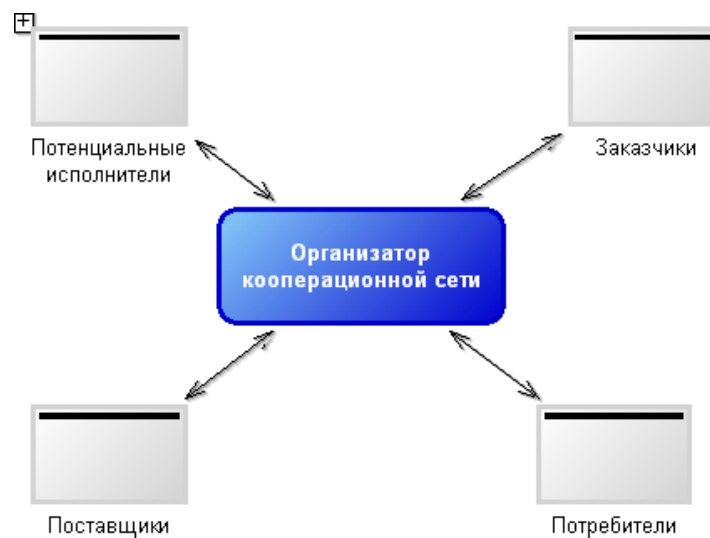


Рис. 2. Участники виртуального предприятия

Создание ВП сегодня рассматривается как один из путей оптимизации промышленного производства. Это рассмотрение приводит к определенной системе взглядов на то, как обычное предприятие должно использовать свои возможности.

Основа функционирования ВП — постоянный поиск наиболее выгодных и надежных партнеров для производства нужных изделий. ВП могут постоянно перестраивать свою конфигурацию и структуру производственных процессов так, чтобы сохранять максимальную эффективность. Благодаря своей способности создавать и использовать самые новаторские идеи при меньших затратах и в более сжатые сроки, они сегодня в развитых странах уже составляют серьезную конкуренцию крупным традиционным предприятиям.

### Заключение

Облачные технологии являются новой сферой в развитии информационных технологий в приборостроении. В частности, виртуальное предприятие с использованием облачной технологии позволяет:

- сократить срок поиска наиболее выгодных и надежных партнеров из-за более широкой и динамичной среды;

- предоставить возможности для экономии времени и стоимости проектирования и изготовления;
- увеличить эффективность работы предприятий-участников за счет оптимального распределения ресурсов;
- стимулировать распространение новых технологий, которые позволяют создавать продукцию с улучшенной конструкцией и лучшего качества;
- предоставить возможность выпускать продукцию, оптимально соответствующую требованиям потребителей за счет более динамичной структуры кооперации.

### Литература

1. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Облачные\\_вычисления](http://ru.wikipedia.org/wiki/Облачные_вычисления)
2. Широкова Е. А. Облачные технологии [Текст] / Е. А. Широкова // Современные тенденции технических наук: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Уфа, октябрь 2011 г.). / Под общ. ред. Г. Д. Ахметовой. — Уфа: Лето, 2011. — С. 30-33.
3. Саломатина А. А. Алгоритмы функционирования технологической подготовки производства в информационной среде виртуального предприятия. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2011.
4. <http://www.issystems.kz/article/20111007/gartner.html>
5. Windows Azure Platform. Обзор платформы. Дмитрий Мартынов.

677.014.5/6

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЦЕННЫХ ВИДОВ ШЕРСТИ И РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ИХ ФАЛЬСИФИКАЦИИ

Е.И. Могильная, А.В. Виноградова, К. С. Нигматулина

Представлены результаты определения волокнистого состава вязальной пряжи, представленной на рынке Санкт-Петербурга. Исследовались образцы содержащие ценный вид шерстяного волокна – шерсть ангорских кроликов (ангору). Проведен обзор методов определения волокнистого состава текстильных материалов, содержащих ценные виды шерстяных волокон.

**Ключевые слова:** шерсть, ангора, фальсификация.

Шерсть является одним из первых волокон, которое человек научился использовать для изготовления текстильных изделий. Частишки шерстяных нитей ученые находят при археологических раскопках стоянок и поселений конца каменного века – так называемого периода неолита. Человек уже 4000 лет назад занимался овцеводством и использовал овечью шерсть для изготовления одежды и предметов домашнего обихода.

Шерсть обладает комплексом полезных свойств, которые выделяют ее среди других волокон. Она упруга, эластична, достаточно прочна, обладает извитостью (чем тоньше шерсть, тем она, как правило, более извита). Извитость способствует получению рыхлой, пушистой и упругой пряжи, а также увеличению срока носки изделий. Благодаря хорошей упругости шерстяные изделия не сминаются и долго сохраняют хороший внешний вид. Шерстяное волокно гигроскопично, т.е. способно поглощать пары влаги. При высокой влажности воздуха она может впитать в себя до 33% влаги относительно собственного веса, оставаясь сухой на ощупь, и медленно отдает ее в окружающую среду. Коэффициент теплопроводности у шерсти ниже, чем у других текстильных волокон. Именно поэтому шерстяные изделия обладают высокими теплозащитными свойствами.

Этот ценный вид текстильного волокна во все времена ценился за свои целебные свойства. В старину люди избавлялись от боли, обматывая тело материалами

из шерсти. В настоящее время шерсть широко используется при изготовлении текстильных изделий. В текстильной промышленности применяют различные виды шерсти. Наряду с овечьей, которая занимает порядка 90% всей используемой в текстильной промышленности шерсти, используют шерстяные волокна других животных. Одним из таких видов шерсти является ангора.

Названия натуральных текстильных волокон регламентируются международным стандартом ИСО 6938-84 «Материалы текстильные. Натуральные волокна. Общие названия и определения» [1].

Ангора – очень мягкая на ощупь и легкая шерсть, пряжа из нее имеет характерный нежный ворс. Получают ангору от ангорского кролика, который был так назван за свою длинную шерсть по аналогии с одноименной козой. Волокно ангоры является одним из самых тонких волокон, его тонина составляет 10–12 мкм. Шерсть ангорских коз обозначается термином «мохер» [1].

Используемая главным образом в текстильной промышленности, шерсть ангорского кролика формирует специфический сектор международной торговли шерсти. Мировое производство ангорской шерсти скромное по объемам, но стоимость единицы веса высока – в 40–50 раз дороже сальной овечьей шерсти. Благодаря высокой стоимости этот ценный вид шерсти может подвергаться фальсификации.

Для определения волокнистого состава текстильных изделий из ценных видов шерсти традиционно применяют методы световой и электронной микроскопии (методы качественного анализа), химический метод (метод количественного определения шерсти в смесях с другими волокнами). Данные методы не позволяют с высокой долей точности количественно определить массовую долю какого-либо ценного вида шерстяного волокна в смеси с овечьей шерстью. В связи с этим актуальной является проблема разработки новых и совершенствования существующих методик количественного определения шерсти ценных и редких видов животных в текстильных изделиях. В настоящее время работы в данном направлении ведутся с использованием методов ИК-спектроскопии; пиролитической газовой хроматографии; методов, основанных на анализе ДНК; на био-иммунологических реакциях (с применением био-маркеров).

Целью исследования явилось определение волокнистого состава вязальной пряжи с ангорой, реализуемой в торговых предприятиях Санкт-Петербурга, выявление возможной фальсификации.

Характеристика объектов исследования представлена в таблице 1.

Номер образца	Производитель (страна)	Волокнистый состав
1	Италия	100% ангора
2	Франция	70% ангора; 30% шерсть
3	Россия	30% ангора; 70% акрил
4	Турция	70% ангора; 30% акрил
5	Россия	12% шерсть; 30% ангора; 17% капрон; 41% акрил
6	Турция	70% ангора; 30% акрил

Таблица 1. Характеристика вязальной пряжи

В настоящей работе определение волокнистого состава исследуемых образцов проводилось методом световой микроскопии и химическим методом. Микроскопированием определяли вид текстильных волокон, составляющих исследуемые образцы, проводили измерение их толщины. Принадлежность шерсти к ангорской определяли визуальным сравнением волокон с фотографиями «Атласа волос млекопитающих» [2]. Шерсть ангорского кролика имеет характерное строение



чешуйчатого и сердцевинного слоев, что позволяет отличить ее от овечьей шерсти и шерсти других животных. Кроме этого, данный вид шерстяного волокна отличается высокой тониной, что также является одним из идентифицирующих признаков.

Массовую долю шерстяного волокна в пряже определяли химическим методом по ГОСТ 4659-79 «Ткани и пряжа чистошерстяные и полушерстяные. Методы химических испытаний» [3]. Расчет массовой доли шерсти проводился с пересчетом на кондиционную массу шерстяного волокна.

В образцах 1 и 2 были обнаружены волокна ангоры толщиной от 5 до 20 мкм, в образце 2 также присутствовали волокна овечьей шерсти толщиной от 15 до 40 мкм. В остальных образцах присутствия ангоры не установлено. В образцах 3, 4, 5 и 6 выявлено наличие мохера толщиной от 15 до 50 мкм, и синтетические волокна. В образце 5 также обнаружены волокна овечьей шерсти, толщиной от 20 до 35 мкм.

Результаты представлены в табл. 2. В четырех образцах (образцы 1, 2, 3, 5) из шести фактическая массовая доля шерстяного волокна соответствует массовой доле, указанной в маркировке. В образцах 4 и 6 выявлено отрицательное отклонение фактической массовой доли шерстяного волокна от массовой доли, указанной в маркировке, на 31% и 21% соответственно.

Номер образца	Производитель (страна)	Массовая доля шерстяного волокна, %		Отклонение, %
		фактическая	указанная в маркировке	
1	Италия	100,00	100,00	0
2	Франция	100,00	100,00	0
3	Россия	33,93	30,00	+ 4
4	Турция	39,05	70,00	- 31
5	Россия	42,60	42,00	+1
6	Турция	49,09	70,00	- 21

Таблица 2. Содержание шерстяного волокна в пряже

Таким образом, среди шести исследованных образцов шерстяной пряжи только в двух не было выявлено фальсификации – это образцы 1 и 2, изготовленные в Италии и Франции. Пряжа, изготовленная в России, содержит заявленное количество шерсти, однако ангора в этих образцах не обнаружена. В образцах 4 и 5, изготовленных в Турции, выявлена качественная и количественная фальсификация шерсти.

Для борьбы с фальсификатом следует усилить контроль за волокнистым составом текстильных товаров, изготовленных из ценных видов природных волокон как при пересечении границ РФ, так и на внутреннем рынке.

### Литература

1. ИСО 6938 – 84 Материалы текстильные. Натуральные волокна. Общие названия и определения. – М.: Изд. станд-в, 1988. – 10 с.
2. Атлас волос млекопитающих. Тонкая структура остевых волос и игл в сканирующем электронном микроскопе / Чернова О.Ф., Целикова Т.Н. – М.; Товарищество научных изданий КМК. 2004. – 429 с.
3. ГОСТ 4659-79 Ткани и пряжа чистошерстяные и полушерстяные. Методы химических испытаний. – М.: Изд. станд-в, 1998. – 10с.

УДК 339.5

## **ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА МЕЖДУНАРОДНОГО МАРКЕТИНГА В РАЗВИТИИ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФИРМЫ**

**Никонова И.Н., Мурашова С.В.**

Каждая фирма, выходящая на мировой рынок, сталкивается с рядом вопросов, на которые помогает ответить международный маркетинг. В статье раскрыто понятие международного маркетинга, названы его элементы и особенности.

**Ключевые слова:** международный маркетинг; элементы маркетинга.

### **Введение**

В современных условиях глобализации мировой экономики, развития международных рынков, расширения международного разделения и кооперации труда, изменений, происходящих в технике и, особенно, в информационных технологиях, растущей осведомленности потребителей разных стран об ассортименте и высоких стандартах качества товаров на мировом рынке и, как следствие этого, роста их требований к поступающим на рынок изделиям и сервисному обслуживанию, многие фирмы вынуждены вести активную деятельность не только внутри страны, но и за ее пределами. Начало ведения внешнеэкономической деятельности открывает новые возможности и новые перспективы развития. Для любой фирмы, желающей включиться в международные экономические отношения, первостепенной задачей становится обеспечение успешного выхода на внешний рынок, что позволяет сделать успешным ведение международного маркетинга, понятие и основные элементы которого мы рассмотрим в данной статье.

### **Принятие решения о выходе на рынок**

Для каждой отдельной фирмы могут существовать следующие причины (мотивы) выхода на зарубежные рынки:

- снижение риска потери доходов за счет уменьшения зависимости от одного отечественного рынка;
- расширение рынка с целью получения большей прибыли от лучшего использования производственных мощностей;
- получение прибыли в твердой иностранной валюте;
- получение за рубежом ценного «ноу-хау» за счет кооперации деятельности с иностранным партнером;
- удовлетворение спроса своих потенциальных клиентов, присутствующих на зарубежных рынках;
- ожидание низкого экономического роста и ухудшения инвестиционного климата в своей стране;
- приобретение на зарубежных рынках необходимых ресурсов и диверсификация источников снабжения и др.

Однако, прежде чем принять решение о выходе на внешний рынок, предприятие должно оценить возможные риски, связанные с такими типичными ошибками:

- 1) неправильное понимание предпочтений зарубежных потребителей при предложении своей продукции;
- 2) чуждая для зарубежной страны культура ведения бизнеса, неумение эффективно общаться со своими иностранными партнерами и клиентами;

- 3) незнание правил регулирования бизнеса за рубежом, что приводит к непредвиденным издержкам;
- 4) отсутствие или недостаточное число менеджеров с опытом международной деятельности и пр.

Выходя на внешний рынок, а затем усиливая на нем свои позиции, предприятие испытывает большую потребность в ясном понимании механизмов поведения покупателей и посредников, действий конкурентов, государственных организаций и пр., так как благодаря такому пониманию рождается способность к адаптации на зарубежных рынках – залог дальнейшей эффективной деятельности на них.

Таким образом, с практической точки зрения понятие «международный маркетинг» можно определить как систему мероприятий, осуществляемых фирмой на зарубежных рынках, по изучению, формированию и удовлетворению спроса на предлагаемые товары и услуги для эффективного достижения своих целей.

### **Использование комплекса международного маркетинга при выходе на внешние рынки**

Основой для проведения предприятием таких мероприятий служит специально разработанный комплекс международного маркетинга. Данный комплекс составляют те же элементы (функции), которые входят в комплекс маркетинга, осуществляемого на внутреннем рынке страны. А именно:

- 1) изучение рынка (потребительского поведения; спроса, конкурентов и конкурентоспособности товаров и услуг; посредников, осуществляющих транспортировку, сбыт и пр.), а также внешней среды, в которой действует фирма (законодательной, экономической, политической, социокультурной, технологической и т.д.);
- 2) формирование товарной (ассортиментной) и ценовой политики фирмы, которая будет соответствовать выбранным рыночным целям;
- 3) разработка и осуществление стратегии продвижения товаров и услуг на выбранных рынках (рекламных кампаний, мероприятий по формированию общественного мнения, стимулированию сбыта и пр.);
- 4) выбор и организация оптимальных каналов товародвижения (сбыта) продукции и услуг.

Последние три из перечисленных функций (2,3,4) реализуют известные «4 ПИ» комплекса маркетинга (marketing mix): товар (product), цена (price), распределение (place), продвижение (promotion). Эти составляющие представляют собой основные объекты, воздействовать на которые должны маркетологи компаний и фирм, как на отечественном, так и на зарубежных рынках. Однако осуществление основных функций маркетинга на зарубежных рынках имеет специфические особенности, которые выражаются в следующем:

1. Необходимость учета воздействия национальных правительств и политических рисков на коммерческую деятельность зарубежных организаций в своих странах. Как правило, эти правительства склонны поощрять экспорт и ограничивать импорт для обеспечения равновесия платежных балансов своих стран. От этого зависят стабильность национальных валют и уровень инфляции. Кроме того, некоторые страны имеют высокий уровень внешней задолженности, а вытекающие из этого затраты на обслуживание долгов напрямую зависят от результатов внешней торговли этих стран. Следовательно, фирме при осуществлении своей внешнеэкономической деятельности следует внимательно следить за принимаемыми законами и реакцией зарубежных правительств на деятельность иностранных компаний. При этом реакция правительства

каждой из стран может быть различной. Например, страна может представить зарубежному поставщику режим наибольшего благоприятствования, если он восполняет дефицит предметов первой необходимости либо поставляет высокотехнологичное оборудование. Но, и это случается чаще, правительство может вводить высокие пошлины на ввоз в страну товаров и услуг и создавать другие административные и экономические препятствия.

В международном маркетинге необходимо также учитывать политические риски, связанные с деятельностью фирмы в зарубежных странах. Экпортируя свою продукцию или создавая совместные предприятия, фирма рискует потерять свои активы, если политическая нестабильность в этих странах (войны, беспорядки и т.д.) может привести к конфискации и повреждению товаров, разрушению оборудования и зданий, запрещению или ограничению вывоза прибыли и т.п.

Также очень важно, осуществляя международную маркетинговую деятельность, учитывать возможность изменения границ. Национальные границы влияют на конкурентную ситуацию в стране, транспортные и таможенные издержки фирмы, экономическое поведение потребителей и т.п.

Следует анализировать также ситуацию и проблемы с конвертацией национальной валюты. Если валюта страны, где организация осуществляет или намеривается осуществлять свою деятельность, нестабильна и подвержена девальвации, существенно возрастает риск финансовых потерь и это обстоятельство необходимо учитывать при планировании маркетинговой работы.

2. Разнообразие рыночных условий. Ситуации в разных странах могут отличаться таким образом, что товары (услуги) пользующиеся высоким спросом в одной стране, в другой – могут быть затребованы небольшим количеством покупателей, что сделает нерентабельным дополнительное их производство и продажу на этом рынке. Кроме того, реализация некоторых товаров промышленного назначения в развивающихся странах ставит проблему передачи потребителю технологических знаний, что не является обязательным для реализации этих товаров в промышленно развитых странах.

Следует также обязательно учитывать национальные традиции и привычки потребления товаров (услуг) в различных странах. Различия между странами проявляются также в организации и динамике развития рынков. Например, существуют различия в организации сбытовой сети, традициях деловых переговоров, условиях предоставления финансовых средств и т. п. Имеются существенные различия между странами в развитии коммуникационных средств. Сегодня с помощью компьютера можно заказать доставку авиабилетов на дом, продуктов питания, мебели и других товаров. Широко используются фирмами современные компьютерные и телекоммуникационные технологии для представления своей продукции на международных рынках. При этом, например, рекламный блок, доступ к которому пользователям сети «Интернет» обеспечивается 24 часа в сутки, обойдется фирме дешевле, чем рекламная кампания в прессе.

Разнообразие рыночных условий определяет следующие характерные черты и специфику организации международного маркетинга в фирме:

— для международной маркетинговой деятельности необходимо организовать и внедрить систему эффективного наблюдения за интересующими фирму зарубежными рынками;

— руководству маркетинговой службой необходимо построить и внедрить систему быстрого реагирования на нестандартные и специфические для зарубежного рынка запросы покупателей, а также требования партнеров и посредников, что предполагает более гибкую и оперативную систему контроля и регулирования производственной и сбытовой деятельности фирмы.

### Заключение

Итак, рассмотрев понятие международного маркетинга и его особенности, мы видим его необходимость при выходе компании на международные рынки. Использование фирмой инструментов международного маркетинга позволит минимизировать затраты, сократить риски, связанные с внешнеэкономической деятельностью, увеличить объемы сбыта и продаж товаров и услуг, что в свою очередь поспособствует увеличению прибыли фирмы и ее статуса.

### Литература

1. Буров А. С. Международный маркетинг: Учебное пособие. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К<sup>о</sup>», 2004. – 284 с.
2. Котлер Ф. Маркетинг менеджмент. Экспресс-курс. 2-е изд. / Пер. с англ. под ред. С. Г. Божук. — СПб.: Питер, 2006. — 464 с.

УДК 539.2-022.532

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

А.В. Пантелеев, А.В. Громов, Д.Н. Вавулин, С.А. Чивилихин

В наше время большая часть научных исследований посвящена военной области. Изучение свойств золота насчитывает уже несколько тысяч лет и продолжается по сей день. В данной работе рассматривается синтез наночастиц золота цитратным методом и возможности его применения в топливной промышленности. В поисках повышения энергетических параметров жидких топлив, ученые обнаружили, что добавление наночастиц к дизельному топливу повышает его зажигательные свойства. Топливо с наночастицами имеет достаточно высокое международное признание благодаря высоким эксплуатационным качествам.

### Введение

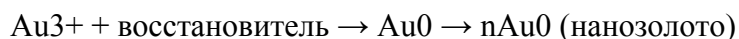
Военная промышленность всегда являлась движущей силой научно-технического прогресса. Эта область доминирует и в политике, проводимой нашим государством, и поэтому ей уделяется особое внимание.

Золото – один из первых открытых человеком металлов, и история его изучения насчитывает несколько тысяч лет. Первые сведения о коллоидном золоте (КЗ) можно найти в трактатах китайских, арабских и индийских ученых, которые уже в V–IV веках до нашей эры получали КЗ и использовали его во многих целях. В средние века в Европе алхимики активно изучали и применяли КЗ. Возможно, что удивительные цветовые превращения, которые сопровождали конденсацию атомов золота, полученных восстановлением из растворов солей, приводили алхимиков к мысли о превращении элементов, причем КЗ считали панацеей.

В данной работе рассматривается синтез наночастиц золота и возможности его применения в топливной промышленности.

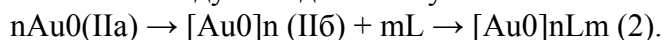
### Синтез наночастиц золота

Для химического синтеза наночастиц золота (рис. 1) «мокрым способом» мы применили реакцию окисления- восстановления:



Этап I в этой реакции соответствует элементарному акту окисления–восстановления. В качестве исходного вещества использовали тетрахлорауровую кислоту  $\text{HAuCl}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

В этапе II следует выделить ступени:



Степень IIa соответствует стадии роста наночастицы; здесь лиганды формально не участвуют в процессе, однако их присутствие сказывается на размере частиц и придании им соответствующей формы. На стадии IIб происходит окончательная стабилизация наночастицы. Кинетические параметры реакций зависят от природы восстанавливающего агента и условий реакции.

Для синтеза наночастиц золота мы использовали цитратный метод. Отличительной особенностью этого метода является то, что цитрат-анион одновременно выступает в роли стабилизатора и восстановителя, поэтому концентрация этого иона играет критическую роль: ее изменение одновременно влияет на скорость восстановления и на процессы роста частиц. Кроме того, в результате реакции в растворе образуются продукты окисления цитрат-аниона – 1,3-ацетондикарбоновая и итаконовая кислоты:

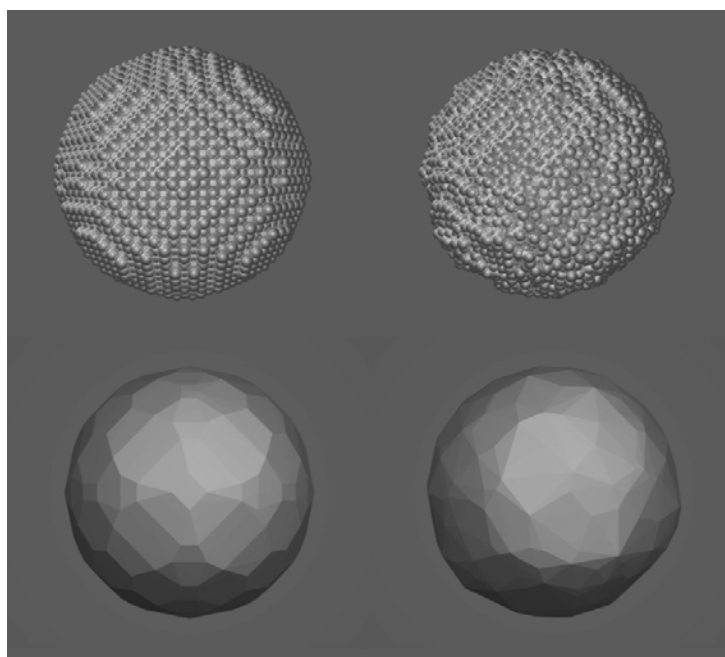
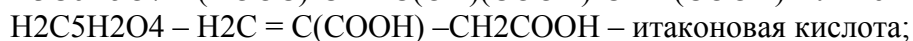
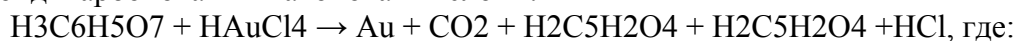


Рис. 1. Форма наночастиц золота

Во время синтеза цвет реакционной смеси изменяется. Первоначально слабо желтая окраска иона  $\text{AuCl}_4$  исчезает, раствор становится темно-синим, далее фиолетовым и окончательно рубиново-красным (наночастицы Au). Изменение цвета раствора указывает на структурные превращения, происходящие в системе. Методом пропускающей электронной микроскопии установлено, что бесцветный раствор, образующийся сразу после добавления цитрата, содержит золотые нанокластеры диаметром 3–5 нм (рис.2, а). В темно-синем растворе формируется сложная структура, которую можно описать как

разветвленную сеть из нанопроволок с диаметром 5 нм (Рис.2b). В стадии темно фиолетового цвета возникают небольшие сегменты, которые образуются в результате разрыва основной разветвленной сети нанопроволок (Рис.2c). Сферические наночастицы с диаметром 10-13 нм начинают откалываться от нанопроволок, когда раствор становится фиолетовым (Рис. 2, d, e). Окончательно золотые наносферы формируются, когда раствор становится рубиново- красным (Рис. 2, f).

Как первичные нанокластеры самособираются (self-assemble) в линейные цепочечноподобные образования – нанопроволоки? Согласно экспериментальным данным, первичные нанокластеры имеют усеченную октаэдрическую геометрию с четкими плоскими гранями [11]. Выдвинута гипотеза [10], что линейные формирования возникают в результате слияния этих наночастиц путем планарного контакта между гранями решетки. Усеченная угловая поверхность октаэдров запрещает объединение соседних граней в силу стерических препятствий. Этот запрет и приводит к формированию линейной структуры (рис. 2).

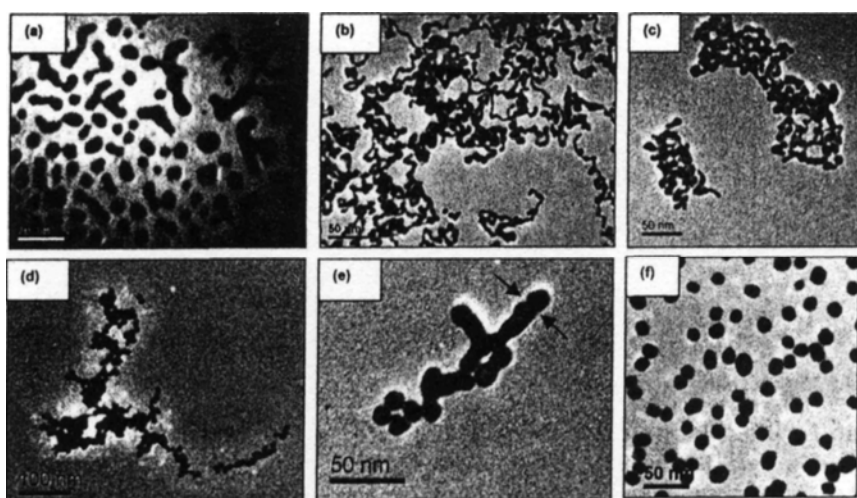


Рис. 2. Изображения золотых наночастиц на разных стадиях синтеза, полученные с помощью просвечивающего электронного микроскопа

По мере протекания процесса, нанопроволоки увеличиваются в толщине, и, когда их диаметр приближается к  $\sim 8$  нм, система становится нестабильной и начинает фрагментироваться. К этому времени концентрация ионов  $\text{AuCl}_4$ -истощается, и цитрат-ионы оказываются доминирующими. Они покрывают наночастицы, сообщая им отрицательный заряд, вызывающий сильный отталкивающий эффект, способствующий раскалыванию линейной структуры и образованию сферической формы.

### Применение

На дизельном топливе работает почти вся военная техника. Это бронетранспортеры БТР-80, танки Т-90, комплексы «Искандер-М», «Тополь-М» и многие другие. В поисках повышения энергетических параметров жидких топлив, ученые обнаружили, что добавление наночастиц к дизельному топливу повышает его зажигательные свойства.

Израильская фирма ApNano Materials, Inc. объявила об окончательных результатах тестирования патентованной присадки к топливу в независимых автомобильных испытательных центрах, включая полевые испытания в грузовиках и военной технике.

Результаты испытаний оказались очень обнадеживающими. При использовании этого топлива зафиксировано существенное улучшение эффективности компрессии и экономия более 5% топлива для всех видов машин. Эти тесты также показали значительное уменьшение температуры двигателя и шума при его работе при совершенном отсутствии каких-либо негативных побочных эффектов.

Основу столь эффективного действия составляют наночастицы золота и вольфрама, которые проявляются в виде сферических вкраплений, называемых неорганическими фуллеренами. Механизм смазки фуллеренов определяется их слоистой объемной структурой, в которой отдельные слои скользят друг относительно друга под нагрузкой, уменьшая трение и износ. При использовании наночастиц в качестве добавки к жидкому маслу или топливу смазочные свойства основы повышаются на порядки величин по сравнению с ними же без добавок. Помимо этого, топливо с наночастицами имеет свойство обволакивать тонкой пленкой, которая работает как смазочная среда в течение долгого времени, даже в условиях серьезной утечки топлива.

Топливо с наночастицами имеет достаточно высокое международное признание благодаря высоким эксплуатационным качествам.

### Выводы

В настоящей работе предложена методика синтеза наночастиц золота цитратным методом, где цитрат-анион одновременно выступает в роли стабилизатора и восстановителя. Исследованы процессы смены во время синтеза, а также рассмотрены возможности применения полученных наночастиц в топливной промышленности. При использовании топлива с наночастицами наблюдалась его экономия, существенно улучшилась компрессия, а также уменьшилось количество вредных выбросов в атмосферу.

### Литература

1. Дыкман Л.А., Богатырев А., Щеголев С.Ю., Хлебцов Н.Г. Золотые наночастицы: синтез, свойства и биомедицинские применения. – М.:Наука, 2008. – 318 с.
2. Евдокимов Ю.М., Сычов В.В. // Успехи химии 2008, 2, 194–206
3. Губин С.П., Юрков Г.Ю., Катаева Н.А. Наночастицы благородных металлов и материалы на их основе. –М.: ООО «Азбука-2000», 2006. – 156 с..
4. Хлебцов Н.Г., Богатырев В.А., Дыкман Л.А., Щеголев С.Ю. // Российские нанотехнологии. 2007. 2, №3–4, 69–86
5. Myrphy C.J., Sau T. K., Gole A.M., Orendorff C.J., Gao J., Gou L., Hunyadi S.E., Li T. // Phys.Chem B 2005, 109, 13857-13870
6. Quan-yu Cai, Sun Hee Kim, Kiu Sil Choi, Soo Yeon Kim, Seung Jae Byun, Kyoung Woo Kim, Seong Hoon Park, Seon Kwan Juhng, Kwon-Ha Yoon // Invest. Radiol, 2007, 42, 797-806
7. Liz-Marzan L.M.// Materialstoday 2004, February, 26–31
8. Журнал NanoWeek, 16–22 марта 2009 г., № 59



УДК 628 981

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ  
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ****Л.В. Полонская, Г.Г. Ишанин**

Статья посвящена рассмотрению методов для ориентировочной оценки ослабления оптического излучения. В частности, методы расчета коэффициента пропускания атмосферы Говарда, Берга и Вильямса. Данные расчеты пропускания учитывают отдельно горизонтальные и наклонные трассы.

**Ключевые слова:** атмосфера, влажность, коэффициент пропускания, метод.

Многообразие возможных условий применения оптико-электронных приборов не позволяет произвести точный учет влияния атмосферы на их работу, поэтому в статье приводятся методы для ориентировочной оценки ослабления оптического излучения и некоторые виды искажений передаваемой информации.

**Состав атмосферы**

Атмосфера состоит из смеси газов и твердых частиц, находящихся в ней во взвешенном состоянии. Водяной пар (концентрация от 0 до 4%) является наиболее поглощающим компонентом. Его содержание в атмосфере может сильно меняться в зависимости от многих факторов: от температуры, высоты, времени года, широты и т.д. Существуют понятия абсолютной и относительной влажности, которые характеризуют содержащееся в атмосфере количество паров воды. Абсолютная влажность  $a$ , г/м<sup>3</sup> – количество граммов воды в 1 м<sup>3</sup> воздуха. Относительная влажность  $f$ , % – отношение фактической влажности к предельной при данной температуре.

Полосы поглощения водяного пара лежат в области длин волн 0,94; 1,1; 1,38; 1,87; 2,7; 3,2; 6,3 мкм. В табл. 1. приведена предельная абсолютная влажность  $a$  водяного пара в зависимости от температуры при относительной влажности  $f = 100\%$ .

$t, ^\circ\text{C}$	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+20	+30	+40	+50
$a, \text{г/м}^3$	1,08	1,6	2,35	3,41	4,86	6,32	9,41	17,32	30,38	51,1	82,8

Таблица 1. Предельная абсолютная влажность водяного пара

С высотой концентрация паров воды быстро убывает и может быть описана следующей формулой:

$$a_H = a_0 \cdot 10^{-H/K}, \quad (1)$$

где  $a_H$  – влажность на высоте  $H$ ;  $a_0$  – влажность на уровне моря;  $H$  – высота в метрах;  $K$  – коэффициент ( $K = 5000$ , если  $H$  – в метрах).

Из формулы (1) следует, что при  $H = 5000$  м концентрация пара в 10 раз меньше, а при  $H = 10$  км – в 100 раз меньше, чем на уровне моря. Следовательно, поглощение парами воды необходимо учитывать лишь для малых высот – меньше 5–10 км. Часто в формулах для расчета поглощения излучения в атмосфере используется понятие водности, т.е. количества воды, осаждаемой в слое единичного сечения протяженностью  $L$  (рис. 1, а).

$$\omega \cdot s \cdot \gamma = s \cdot L \cdot f \cdot a; \quad \omega = L \cdot f \cdot a / \gamma, \text{ м}, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – удельный вес Н<sub>2</sub>О.

**Задача.** Подсчитать осажденный слой воды при  $t = 40^\circ\text{C}$ ,  $f = 100\%$ ;  $L = 10$  км,  
 $\omega = 10\,000 \cdot 51.1 / 1 \cdot 10^6 = 51.1 \cdot 10^4 \cdot 10^{-6} = 0.51$  м  $\text{H}_2\text{O}$ .

В табл. 2 приведено среднее годовое значение абсолютной и относительной влажности для разных широт северного полушария.

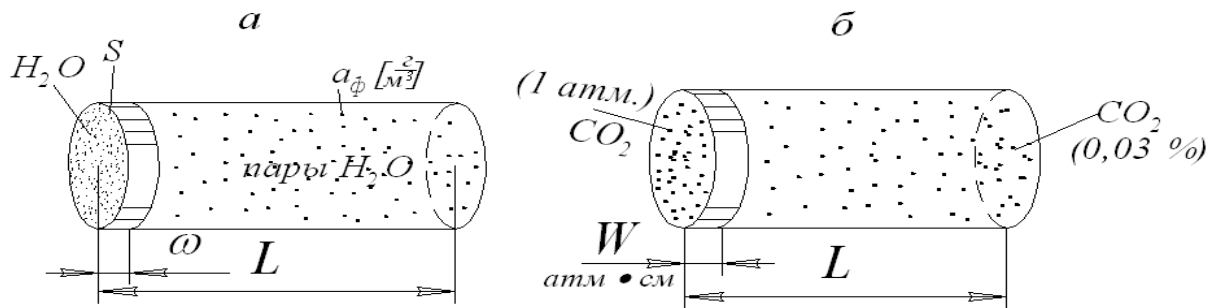


Рис. 1. К расчету осажденного слоя воды (а), и концентрации  $\text{CO}_2$  при 1 атм. (б)

$\varphi^\circ$	5	15	25	35	45	55	65
$a$ , г/м <sup>3</sup>	18,5	16,8	13,6	9,8	7,2	15,2	3,4
$f$ , %	79	75	71	70	74	78	82

Таблица 2. Средние значения влажности

**Углекислый газ.** Концентрация  $\text{CO}_2$  не зависит от высоты и равна 0,03–0,04 %. Над городами концентрация  $\text{CO}_2$  увеличивается до 0,05%. Углекислый газ имеет полосы поглощения при длинах волн 1,4; 1,6; 2,0; 4,3; 4,8; 5,2; 9,4; 10,4; 13,9 мкм. Углекислый газ довольно равномерно распределен до высоты 25 км. На высоте более 25 км его можно не учитывать. Концентрация углекислого газа  $W$  (атм·см) показывает длину пути в сантиметрах, на котором содержится то же число молекул газа, находящегося при атмосферном давлении, как и в столбе произвольной длины и произвольного давления (рис. 1, б).

$$W = 3 \cdot 10^{-4} L \text{ [атм·см]} \quad (3)$$

При  $L = 1$  км;  $W = 3 \cdot 10^{-4} \cdot 10^5 = 30$  [атм·см].

**Озон** сосредоточен в основном на высотах 25–33 км, вызывается ионизацией воздуха ультрафиолетовым излучением Солнца. Концентрация озона в воздушной атмосфере составляет 0,00004%.

### Метод расчета пропускания атмосферы Говарда, Берга и Вильямса

По этому методу коэффициенты пропускания вычисляются отдельно для окон пропускания и отдельно для полос поглощения. Причем в окнах учитывается лишь рассеяние, а в полосах – только поглощение. Установлено, что при большой концентрации поглотителя поглощение увеличивается пропорционально логарифму количества поглотителя, а при слабой – пропорционально корню квадратному из количества поглотителя. В соответствии с этим формулы для вычисления полного поглощения  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  имеют следующий вид:

для "слабой" полосы

$$\int_{V_1}^{V_2} a_V dV = C_1 W^{\frac{1}{2}} \cdot (P + p)^{\alpha_1}; \quad (4)$$

для "сильной" полосы

$$\int_{V_1}^{V_2} a_V dV = C + D \lg W + \alpha_2 \lg(P + p), \quad (5)$$

где  $a_V$  – спектральный коэффициент поглощения в шкале волновых чисел;  $W$  – для  $CO_2$ , атм·см.,  $C_1$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – постоянные;  $(P+p)$  – полное давление,  $p$  – парциальное давление поглотителя, равное  $p = \frac{f}{100} E_w$ ;  $E_w$ , мм рт.ст. – упругость насыщенных паров, зависящая от температуры, (0,75 мм рт.ст. = 1 мб =  $10^3$  г/см·с<sup>2</sup>);  $V_1$  и  $V_2$ , см<sup>-1</sup> – волновые числа, соответствующие рассматриваемому спектральному интервалу. Для вычисления водности используются те же зависимости, с заменой  $W$  на  $\omega$ , где  $\omega$  – для  $H_2O$ , см.

Расчет среднего коэффициента пропускания для выбранной полосы  $\Delta\lambda = \lambda_1 \div \lambda_2$  производится по формуле:

$$\tau_{\Delta\lambda} = 1 - \left( \int_{V_1}^{V_2} a_V dV \right) / (V_2 - V_1); \quad (\tau_{\text{пропускания}} = 1 - a_{\text{поглощения}}).$$

В том случае, когда происходит перекрытие полос поглощения углекислого газа и паров воды (рис. 2, а), суммарное поглощение вычисляется по следующей формуле:

$$\int_{V_2}^{V_3} a_V (H_2O + CO_2) dV = \int_{V_2}^{V_3} a_V (H_2O) dV + \varepsilon_1 \int_{V_2}^{V_3} a_V (CO_2) dV,$$

где  $\varepsilon_1$  – коэффициент взаимного влияния поглотителей, зависящий от поглощения паров воды (рис. 2, б).

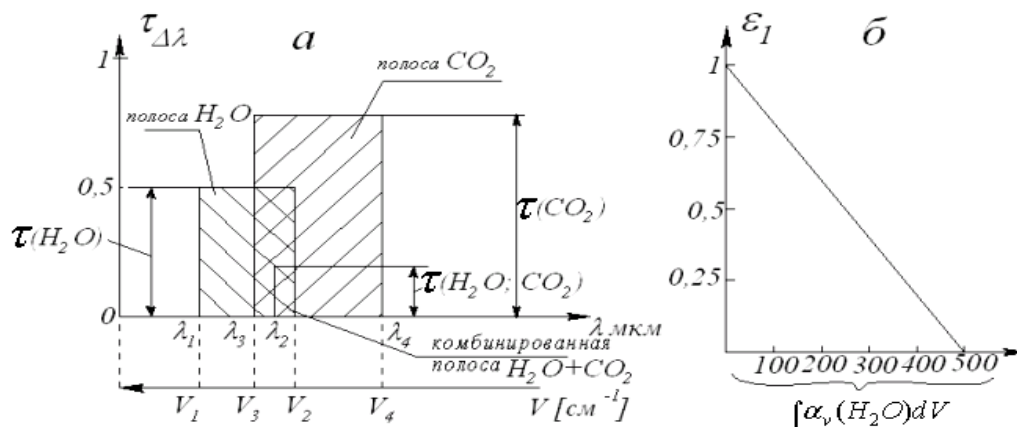


Рис. 2. К расчету пропускания по методу Говарда, Берга и Вильямса (а), и зависимость коэффициента  $\varepsilon_1$  от  $\int a_V (H_2O) dV$  (б).

Если  $\int a_V (H_2O) dV \geq 500$ , то поглощение  $CO_2$  не учитывается. При вычислениях  $\tau (H_2O, CO_2) \neq \tau (H_2O) \cdot \tau (CO_2)$ , а суммарное пропускание определяется по формуле

$$\tau_{\Delta\nu=\nu_3-\nu_2}(\text{H}_2\text{O}; \text{CO}_2) = [1 - \left( \int_{\nu_2}^{\nu_1} a_\nu(\text{H}_2\text{O})d\nu \right) / (\nu_1 - \nu_2)] \cdot [1 - \varepsilon_1 \left( \int_{\nu_4}^{\nu_3} a_\nu(\text{CO}_2)d\nu \right) / (\nu_3 - \nu_4)].$$

Методы расчета коэффициента пропускания в «окнах»  $\tau_p$  изложены ниже. Значения постоянных в формулах (4), (5) приведены в таблицах 3–6.

Концентрация углекислого газа  $W$  определяется как  $W = 3 \cdot 10^{-4} L$  [атм·см].

Как известно, среднее количество  $\text{CO}_2$  в атмосфере при  $H = 0-25$  км составляет 0,033 %, что дает на 1 км пути

$$W \cong 3 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-5} \cong 30 \text{ [атм·см]}.$$

Сильных полос меньше, чем слабых, и они не всегда совпадают со слабыми. Если слабая полоса лежит вне пределов применения коэффициента пропускания, а среди сильных полос отсутствует, то выбирается ближайшая сильная полоса, и расчет ведется по ней.

Полосы $\text{CO}_2$ , мкм	Границы полос		$C_1$	$a_1$	$\Delta V$ , см <sup>-1</sup>	Пределы применимости формулы
	$V$ , см <sup>-1</sup>	$\lambda$ , мкм				
1,4	6650÷7250	1,38÷1,50	0,058	0,41	600	80
1,6	6550÷6000	1,52÷1,67	0,063	0,38	550	80
2,0	5200÷4750	1,92÷2,1	0,492	0,39	450	80
2,7	3800÷3480	2,64÷2,87	3,15	0,43	320	50
4,3	2500÷2160	4,0÷4,63			340	50
4,8	2160÷1980	5,05÷4,63	0,12	0,37	180	60
5,2	1980÷1870	5,35÷5,05	0,024	0,40	110	30
15	800÷570	18,2÷12,5	3,16	0,44	250	50

Таблица 3. Постоянные коэффициенты для вычисления поглощения углекислым

газом для слабой полосы  $\int_{\nu_1}^{\nu_2} a_\nu d\nu = C_1 W^{0.5} (P + p)^{\alpha_1}$

Полосы $\text{CO}_2$ , мкм	Границы полос		$\Delta V$ , см <sup>-1</sup>	Д	$\alpha_2$
	$V$ , см <sup>-1</sup>	$\lambda$ , мкм			
2,0	5200÷4750	2,1÷1,92	450	-536	138
2,7	3800÷3480	2,87÷6,64	320	-137	77
4,3	2500÷2160	4,63÷4,00	340	27,5	31,5
15	800÷550	18,2÷12,5	250	-68	55

Таблица 4. Постоянные коэффициенты для вычисления поглощения

углекислым газом для сильной полосы  $\int_{\nu_1}^{\nu_2} a_\nu d\nu = C + D \lg W + a_2 \lg (P + p)$

**Примечание.** В формулах  $W$  выражено в [атм·см.];  $P, p$  – в мм. рт. ст.; основание логарифма - 10.

Полосы поглощения H <sub>2</sub> O, мкм	Граница полос		$\Delta V,$ см <sup>-1</sup>	$C'_1$	$a_1$	Пределы применимости формулы
	$V,$ см <sup>-1</sup>	$\lambda,$ мкм				
0,94	11500÷10200	0,98÷0,87	1300	38	0,27	200
1,1	9300÷8300	1,24÷1,075	1000	31	0,26	200
1,38	8000÷6500	1,54÷1,25	1500	163	0,3	350
1,87	5900÷4800	2,08÷1,70	1100	152	0,3	275
2,7	4400÷3340	3÷2,3	1060	316	0,32	200
3,2	3340÷2800	3,575÷3	540	40,2	0,3	500
6,3	2050÷1150	8,7÷4,9	900	356	0,3	160

Таблица 5. Постоянные коэффициенты для вычисления поглощения

парами воды для слабой полосы  $\int_{V_1}^{V_2} a_v dv = C'_1 \omega^{0.5} (P + p)^{a_1}$

Полосы поглощения H <sub>2</sub> O, мкм	Граница полос		$\Delta v,$ см <sup>-1</sup>	$C'$	$D$	$a_2$
	$V,$ см <sup>-1</sup>	$\lambda,$ мкм				
1,38	8000÷6500	1,54÷1,25	1500	202	460	198
1,87	5900÷4800	2,08÷1,7	1100	127	232	144
2,7	4400÷3340	3÷2,3	1060	334	246	150
6,3	2050÷1150	8,7÷4,9	900	302	218	157

Таблица 6. Постоянные коэффициенты для вычисления поглощения

парами воды для сильной полосы  $\int a_v dv = C' + D \lg \omega + a_2 \lg (P + p)$

**Примечание.** В формулах  $\omega$  берется в сантиметрах.

### Методика расчета пропускания

- 1) Определяем концентрацию H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> ( $\omega$  и  $W$ ).
- 2) Вычисляем спектральные коэффициенты  $\tau_{i H_2O}$  и  $\tau_{i CO_2}$  для полос поглощения H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub>. Результаты всех вычислений сводим в табл. 7.
- 3) Там, где области поглощения перекрываются, находим коэффициент пропускания  $\tau_{i H_2O+CO_2}$  для комбинированных полос поглощения.
- 4) При вычислении интервал полосы поглощения берется табличным ( $\Delta v_{i_2 i_1} = v_1 - v_2$ ;  $\Delta v_{CO_2} = v_3 - v_4$ ), а в таблице записывается истинный спектральный интервал с учетом полосы перекрытия:  
 $\Delta v_{CO_2} = v_2 - v_4$ ;  $\Delta v_{H_2O} = v_1 - v_3$ ;  $\Delta v_{H_2O+CO_2} = v_3 - v_2$   
 $\Delta \lambda_{CO_2} = \lambda_4 - \lambda_2$ ;  $\Delta \lambda_{H_2O} = \lambda_3 - \lambda_1$ ;  $\Delta \lambda_{H_2O+CO_2} = \lambda_2 - \lambda_3$ .
- 5) Строим кривую  $m_{e,\lambda,T}$  и наносим на ней полосы поглощения и "окна" пропускания.
- 6) Определяем по графику значения  $m_{e,\lambda,i,sp}$  для каждой полосы.

7) Вычисляем суммарный коэффициент пропускания по формуле

$$\tau_n = \left( \sum m_{e,\lambda,i,sp} \cdot \tau_{\lambda,i} \cdot \Delta\lambda_i \right) / \left[ \sum m_{e,\lambda,i,sp} \cdot \Delta\lambda_i \right].$$

$\lambda, \text{мкм}$	Границы интервала, мкм	Характеристика интервала	$m_{e,\lambda,i,sp}$	$m_{e,\lambda,i} \Delta\lambda_i$	$\tau_\lambda$	$m_{e,\lambda,i,sp} \cdot \tau_\lambda \cdot \Delta\lambda$
		Полоса Н <sub>2</sub> О Полоса СО <sub>2</sub> Комбинированная полоса Н <sub>2</sub> О и СО <sub>2</sub> «Окно»				

Таблица 7.

### Расчет пропускания методом Говарда, Берга и Вильямса на наклонных трассах

На наклонных трассах концентрация Н<sub>2</sub>О

$$\omega_{\text{H}_2\text{O}} = a_0 \cdot \frac{\lg e \cdot K \cdot f}{\sin \alpha \cdot \gamma} \cdot \left( 1 - 10^{-L_H \cdot \sin \alpha / K} \right).$$

Поскольку концентрация СО<sub>2</sub> в пределах высот от нуля до 25 км остается постоянной, формула вычисления  $W_{\text{CO}_2}$  применяется без изменений.

$$W_{\text{CO}_2} = 30 \cdot L_H, \text{ [атм}\cdot\text{см]},$$

где  $L_H$  – наклонный путь в километрах.

Учет изменения давления с высотой следует вести отдельно для "слабых" и "сильных" полос. Давление на высоте  $H$  можно записать следующим образом:

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{H}{h}},$$

где  $h = f(H)$ , и приближенно  $h$  можно принять постоянным и равным 7000 м до высоты 25 км.

По формуле Говарда, Берга и Вильямса вместо  $(P+p)^{\alpha_1}$  и  $\lg(P+p)$ , которые меняются с высотой, надо подставить некоторые средние значения  $(P^{\alpha_1})_{cp}$  и  $(\lg P)_{cp}$ .

Рассмотрим член  $(P+p)^{\alpha_1}$  для слабой полосы. Для простоты обозначим его  $P^{\alpha_1}$ . С учетом формулы можно записать:

$$P^{\alpha_1} = P_0^{\alpha_1} \cdot e^{-\frac{H}{h} \cdot \alpha_1}.$$

По теореме о среднем, если  $H$  меняется от  $H_1$  до  $H_2$ , напишем:

$$(P^{\alpha_1})_{cp} (H_2 - H_1) = \int_{H_1}^{H_2} P^{\alpha_1} \cdot dH \tag{6}$$

или, с учетом уравнения (6),

$$\begin{aligned} (P^{\alpha_1})_{cp} &= \frac{1}{H_2 - H_1} \int_{H_1}^{H_2} P_0^{\alpha_1} \cdot e^{-H \cdot \alpha_1 / h} \cdot dH = \frac{P_0^{\alpha_1}}{H_2 - H_1} \left( \frac{h}{\alpha_1} \right) \int_{H_1}^{H_2} e^{-H \cdot \alpha_1 / h} \cdot d(-H \cdot \alpha_1 / h) = \\ &= \frac{P_0^{\alpha_1}}{H_2 - H_1} \left( -\frac{h}{\alpha_1} \right) \cdot e^{-H \cdot \alpha_1 / h} \Big|_{H_1}^{H_2} = \frac{P_0^{\alpha_1} \cdot h}{(H_2 - H_1) \cdot \alpha_1} \cdot (e^{-H_1 \cdot \alpha_1 / h} - e^{-H_2 \cdot \alpha_1 / h}). \end{aligned}$$

Если  $H_1 = 0$ ,  $H_2 = H$ , то  $(P^{\alpha_1})_{cp} = \frac{h}{H \cdot \alpha_1} \cdot P_0^{\alpha_1} \cdot (1 - e^{-\frac{H}{h} \alpha_1})$ .

Для сильной полосы

$$\begin{aligned}
 (\lg P)_{cp} &= \frac{1}{H_2 - H_1} \int_{H_1}^{H_2} \lg P dH = \frac{1}{H_2 - H_1} \left( \underbrace{\int_{H_1}^{H_2} \lg P_0 dH}_{const = \lg P_0 (H_2 - H_1)} - \int_{H_1}^{H_2} \frac{H}{h} \lg e dH \right) = \\
 &= \lg P_0 - \frac{\lg e \cdot H^2}{h(H_2 - H_1) \cdot 2} \Big|_{H_1}^{H_2} = \lg P_0 - \lg e \frac{H_2^2 - H_1^2}{h \cdot 2(H_2 - H_1)} = \lg P_0 - \frac{\lg e (H_2 + H_1)}{2 \cdot h}; \\
 \lg P)_{cp} &= \lg P_0 - \frac{\lg e (H_2 + H_1)}{2 \cdot h}.
 \end{aligned}$$

Метод пригоден для высот, меньших или равных 20 км. При  $H \rightarrow \infty$  средние величины стремятся к нулю, так как за пределами 20 км давление  $P$  резко падает. Получим для слабой полосы пропускание 100%, поглощение 0%.

### Литература

1. Ишанин Г. Г., Козлов В. В. Источники излучения. Учебное пособие для вузов. – СПб: ГУ ИТМО, 2005. – 395 с.

УДК 621.316.71: 621.3.07

## ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С КОМПЬЮТЕРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

С.А. Тушев, Н.А. Поляков

Рассмотрена разработка программного обеспечения для лабораторного стенда для изучения систем электропривода и электрических машин в среде графического программирования LabVIEW. Созданы виртуальные приборы, обеспечивающих осуществление экспериментов по исследованию замкнутой по скорости одноконтурной системы управления асинхронным двигателем, а также вывод измерений в процессе работы на экран и сохранение полученных данных в текстовый файл.

**Ключевые слова:** лабораторный стенд, автоматизированный электропривод, виртуальный прибор.

### Введение

В статье отражена методика создания лабораторных работ на базе учебного стенда для изучения электропривода и электрических машин с компьютерным управлением ЭМП1-С-К (рис. 1).



Рис.1. Стенд ЭМП1-С-К

Стенд состоит из аппаратной и программной частей. Аппаратная часть включает в себя электромеханический агрегат, состоящий из двух электрических машин, соединенных муфтой. Комплекс позволяет исследовать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (АДКЗ), асинхронный двигатель с фазным ротором, синхронный двигатель, двигатель постоянного тока (ДПТ) с различными видами возбуждения. Нагрузкой может являться либо одна, либо другая электрическая машина. Также в аппаратную часть входят источники питания для двигателей, блоки приема и передачи сигналов, плата сбора данных для персонального компьютера. Большинство блоков имеют возможность управления от компьютера.

Питание якоря двигателя постоянного тока осуществляется от полупроводникового преобразователя, построенного по мостовой схеме. Питание статорной обмотки машины переменного тока осуществлено двумя способами. Первый – нерегулируемое питание от трехфазного трансформатора, подключенного к промышленной сети 220/380 В 50 Гц. Второй вариант – питание от вторичного источника питания с регулируемым выходом с двумя диапазонами изменения магнитного потока, определяемыми соотношениями  $U/f$  220/50 и 130/50 для реализации управления по законам Костенко [1]. Управляющий сигнал источника варьируется в диапазоне от 0 до 10 В. Максимальному значению управляющего сигнала соответствует частота токов статора 100 Гц. Интервал коммутации ключей источника 1 КГц, что накладывает ограничение на частоту дискретизации системы цифрового электропривода в целом.

Программная часть включает набор приложений для проведения лабораторных работ с компьютерным управлением, драйвер для платы сбора данных, а также электронный осциллограф.

### **Стандартные лабораторные работы**

Стандартные лабораторные работы с компьютерным управлением позволяют изучать разомкнутые и замкнутые системы управления электропривода с такими типами электрических машин, как ДПТ и АДКЗ. Реализованы одноконтурные системы регулирования скорости. В качестве регулятора используется пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор. Технически управление реализовано с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), находящихся на плате сбора данных, приемно-распределительного блока ввода-вывода сигналов (коннектор) и блока усиления цифровых сигналов с уровня 3 В до уровня 24 В. Такое напряжение необходимо для коммутации реле, управляющих включением/отключением различных частей лабораторной установки. В качестве обратной связи используется оптический датчик скорости, стоящий на валу асинхронного двигателя. Коммутация приборов между собой осуществляется с помощью силиконовых проводов со стороны лицевых панелей элементов комплекса и электромеханического агрегата. Регулирование выходного напряжения источников питания АДКЗ и ДПТ осуществляется с использованием выходного напряжения ЦАП в диапазоне от 0 до 10 В.

Компьютерные приложения позволяют получать графики переходных процессов при подаче задающих воздействий различного уровня, однако вид воздействия ограничивается скачком задания. Механическая характеристика строится динамически в графическом режиме. На экране компьютера можно наблюдать текущее значение скорости вращения двигателя, уровни тока и напряжения на исследуемой машине.



Также датчик скорости продублирован физическим прибором, входящим в состав комплекса.

Недостатками стандартных лабораторных работ являются:

- Способ снятия механической характеристики – потому, что сохраняются не все данные, а лишь некоторое конечное количество точек, при этом данные невозможно экспортировать в файл, что не позволяет сделать их последующую обработку и включение в отчет о проведенной работе;
- Невозможность управлять нагрузкой исследуемой машины из компьютерной программы.

### Разработка лабораторной работы в LabVIEW

Среда графического программирования LabVIEW получает все большее распространение в промышленности и образовании. Ее несомненные преимущества – высокая производительность при разработке программ, называемых виртуальными приборами (ВП) или виртуальными инструментами (ВИ), и широкий набор функциональных возможностей языка и среды программирования [2]. ВП симулируют реальные приборы, например, осциллограф или мультиметр. LabVIEW содержит полный набор инструментов для сбора, анализа, представления и хранения данных [3].

Язык LabVIEW не похож на другие языки программирования. ВП, которые создаются с его помощью, предназначены не только для моделирования тех или иных процессов, но и для управления аппаратными средствами и исследования реальных физических объектов. Простота образных графических конструкций, наглядность и читаемость готовых программ заставляют отдать предпочтение языку LabVIEW перед другими. В отличие от других языков программирования, он оперирует не кодовыми строками, а блоками диаграмм, что делает программирование более простым и понятным. Преимущества этого языка проявляются при выполнении следующих задач:

- исследование возможности контроля измерительной системой параметров объекта измерений;
- анализ и оптимизация структуры компьютерных контрольно-измерительных систем (ККИС);
- расчет и анализ статистических и динамических метрологических характеристик (МХ) ККИС и ее компонентов.

Построенные с использованием данного пакета имитационные модели наглядно отражают суть реальных физических процессов, протекающих в объектах исследования. LabVIEW включает большой выбор библиотек программ, позволяющих:

- управлять доступом к внешним данным посредством стандартных интерфейсов (КОП, VXI, RS232, USB и др.);
- анализировать данные измерений;
- осуществлять архивацию и хранение данных [4].

Для реализации лабораторной работы по исследованию замкнутой по скорости системы были разработаны два ВП. Один из них осуществляет управление режимами работы двигателя – выбор направления вращения и заданием скорости (кнопки «вперед» и «назад»), а также кнопку подключения нагрузки в виде машины постоянного тока. Логическая часть ВП организована таким образом, чтобы исключить возможность одновременной подачи сигналов включения двигателя с вращением в прямом и обратном направлении. На плату через блок «DAQ Assistant» поступает цифровой код, соответствующий выбранному режиму работы (рис. 2).

Второй виртуальный прибор содержит регулятор системы управления приводом, реализованный с помощью элементов пакета «Control Design & Simulation», а также

задание скорости вращения и величины момента машины постоянного тока, играющей роль нагрузки для асинхронного двигателя. Помимо того, в этом блоке могут быть установлены измерители для снятия показаний с датчиков системы. В данном случае осуществляется снятие данных с датчика скорости с выводом на виртуальный осциллограф, виртуальный спидометр и с записью данных измерений в текстовый файл с помощью блока «Write to measurement file». Блоки Saturation осуществляют ограничение задания в допустимых пределах от 0 до 10В (рис. 3).

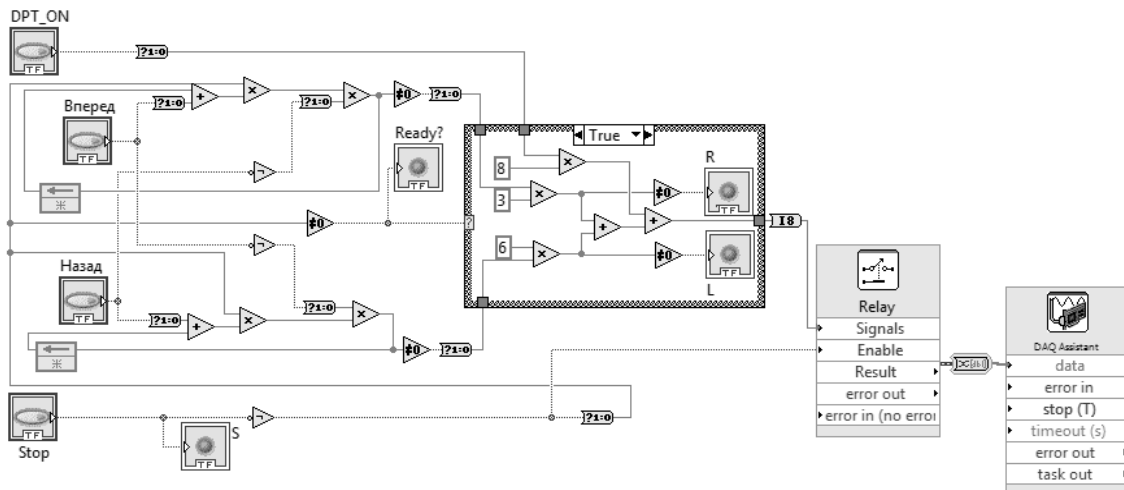


Рис. 2. ВП управления режимами работы асинхронного двигателя

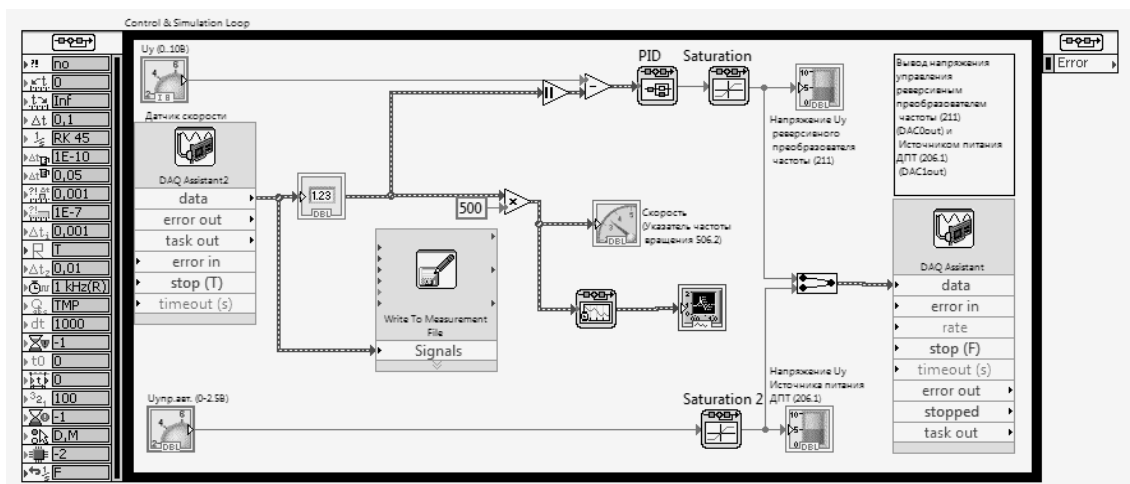


Рис. 3. ВП системы управления

Результаты, полученные в ходе работы, записываются в текстовые файлы, которые могут быть использованы для построения графиков исследуемых временных зависимостей и характеристик. В качестве регулятора используется блок «PID» пакета «Control Design & Simulation». параметры которого в данной системе соответствуют ПИ-регулятору.

В данном случае приводятся результаты отработки системой реакции на скачок задающего воздействия, реакцию на скачок возмущающего воздействия и реакцию на переключение системы в режим реверса. Реакция на скачок задания скорости 0-1000 об/мин приведена на рис. 4.

Реакция на реверс скорости на рис. 5. В данном случае после разгона до 1000 об/мин двигатель работал в установившемся режиме, после чего, путем переключения

направления вращения в ВП управления режимами работы асинхронного двигателя осуществлялся реверс скорости.

Реакция на скачок возмущения приведена на рис. 6. В данном случае после разгона двигателя до скорости 1000 об/мин в ВП управления режимами работы асинхронного двигателя осуществлялось включение ДПТ с установленным в ВП системы управления электромеханическим моментом, используемым в качестве нагрузки для асинхронного двигателя.



Рис. 4. Реакция на скачок возмущающего воздействия

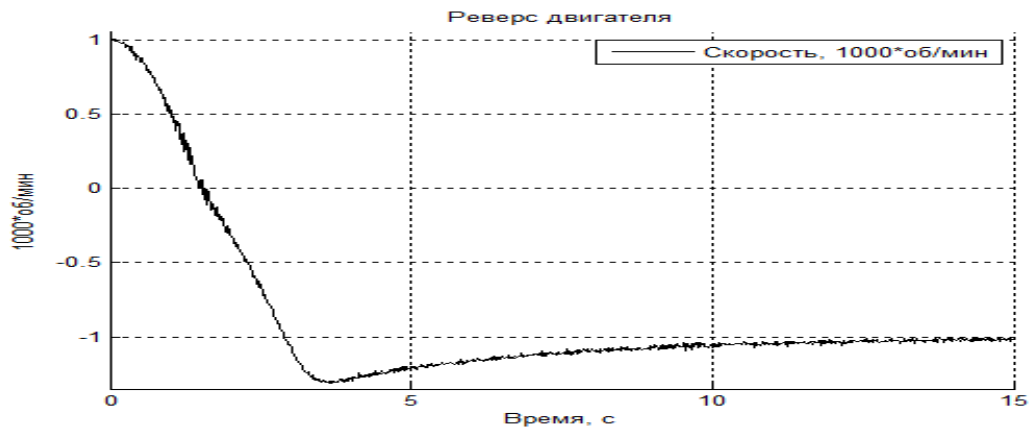


Рис. 5. Реакция на реверс скорости

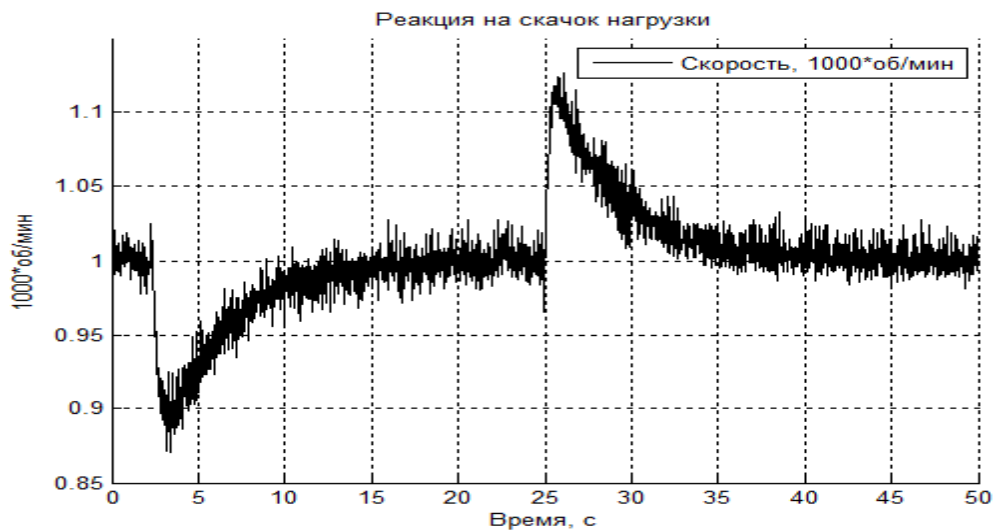


Рис. 6. Реакция на скачок возмущающего воздействия

### Заключение

В работе рассмотрен пример создания в пакете LabVIEW виртуальных приборов для лабораторного стенда, позволяющих осуществлять исследование замкнутой по скорости одноконтурной системы управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. Дальнейшие разработки будут направлены на реализацию двухконтурной системы управления ДПТ для лабораторных работ с программируемым временем переключения режимов и с использованием датчиков тока и напряжения для построения механических и регулировочных характеристик.

### Литература

1. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. Учебное пособие по дисциплинам электромеханического цикла. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006 – 94 с.
2. Суранов А.Я. Labview 7: Справочник по функциям – М.: ДМК Пресс, 2005. – 512 с.
3. Автоматизация измерений, контроля и испытаний: учебное пособие / Мищенко С.В., Дивин А.Г., Жилкин В.М., Пономарев С.В., Свириденко А.Д. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 116 с.
4. Учебный курс LabVIEW Основы I/ Михеев П.М., Крылова С.И., Лукьянченко В.А., Урюпина Д.С. – М: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2007. – 365 с.

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

**Э.С. Полякова, И.Б. Бондаренко**

Статья дает краткое определение сложному сигналу, так же представлен материал о методах анализа и прогнозирования сложного сигнала, недостатках и достоинствах, о проблематике выбора тех или иных методов для прогнозирования сложных сигналов.

**Ключевые слова:** сигнал, анализ, прогнозирование.

### Введение

Под сигналом понимается упорядоченное по времени ряд значений наблюдаемого процесса. Сложный сигнал характеризуется особенностями, представленными в табл. 1. Примерами сложных сигналов могут служить температура воздуха на коротких интервалах, количество посещений сайта, котировки акций и валют, показания приборов технологических процессов, медицинские наблюдения и др. Во всех случаях можно полагать, что сигнал генерируется некоторой сложной динамической системой.

Нестационарность	Статические характеристики, такие как среднее, дисперсия, функция распределения – не постоянны по времени, вплоть до разности нескольких порядков
Непериодичность	Спектральный и вейвлет-анализ не выявляют выраженной периодической компоненты (спектр похож на спектр белого шума)
Нелинейность	Сигнал описывается нелинейным уравнением
Наличие сингулярностей	Нет закономерных сигналов изменений сигнала, которые нельзя исключать при анализе как «выбросы»
Фрактальность	Наличие в сигнале самоподобной структуры на различных временных масштабах
Стохастичность	Вероятностное описание поведения сигнала, внешняя схожесть со случайным сигналом
Хаотичность	Возможно наличие хаоса в сигнале, т.е. детерминированное поведение сигнала, несмотря на кажущуюся стохастичность

Таблица 1. Характеристики сложного сигнала

Под динамической системой понимают любой объект или процесс, для которого однозначно определено понятие состояния как совокупности некоторых величин в данный момент времени и задан закон, который описывает изменение (эволюцию) начального состояния с течением времени. Этот закон позволяет по начальному состоянию прогнозировать будущее состояние динамической системы, его еще называют законом эволюции.

Динамические системы – это механические, физические, химические, биологические объекты, вычислительные процессы и процессы преобразования информации, совершаемые в соответствии с конкретными алгоритмами.

Определив понятие сложного сигнала, рассмотрим существующие методы анализа и прогнозирования сигналов и в частности сложных [2].

### Методы анализа сложных сигналов

**Спектральный анализ (Фурье - анализ).** Цель спектрального анализа – разложить ряд на функции синусов и косинусов различных частот, для определения тех, появление которых особенно существенно и значимо. Один из возможных способов сделать это – решить задачу линейной множественной регрессии, где зависимая переменная – наблюдаемый временной ряд, а независимые переменные или регрессор: функции синусов всех возможных (дискретных) частот. Спектральный анализ определяет корреляцию функций синусов и косинусов различной частоты с наблюдаемыми данными.

Анализ структуры нестационарных процессов	Вейвлет-преобразование позволяет исследовать изменение во времени мгновенных амплитуд и частот ритмов. Это свойство особенно хорошо подходит для изучения нестационарных данных, например, процессов, возникающих в динамике живых систем.
Сжатие больших объемов информации.	Вейвлет-преобразование является основой стандарта сжатия видеозображений MPEG4. При допустимых потерях качества изображения (несущественных мелких деталей) существует возможность провести сжатие данных почти в 300 раз.
Компьютерная графика	Вейвлеты позволяют осуществлять редактирование изображения с переменным разрешением, поклеточное представление поверхностей по контуру, формировать запрос для поиска изображения по образцу.
Системы передачи данных	Обладая высокой устойчивостью к воздействию помех, вейвлет-преобразование все активнее используется в тех областях, где раньше применялись другие методы (например, преобразование Фурье), в частности, для передачи информации [3].

Таблица 2. Примеры применения вейвлетов

**Анализ главных компонент.** Это способ понижения размерности, состоящий в переходе к новому ортогональному базису, оси которого ориентированны по направлениям максимальной дисперсии набора входных данных. Вдоль первой оси нового базиса дисперсия максимальна, вторая ось максимизирует дисперсию при условии ортогональности первой оси, и т.д., последняя ось имеет минимальную дисперсию из всех возможных. Такое преобразование позволяет понижать информацию путем отбрасывания координат, соответствующих направлениям с минимальной дисперсией. Предполагается, что если нам надо отказаться от одного из базисных векторов, то лучше, если это будет тот вектор, вдоль которого набор входных данных меняется менее значительно.

**Вейвлет-анализ.** Этот метод представляет собой особый тип линейного преобразования сигналов и отображаемых этими сигналами физических данных о процессах и физических свойствах природных сред и объектов. Базис собственных функций, по которому проводится разложение сигналов, обладает многими специальными свойствами и возможностями. Они позволяют сконцентрировать внимание на тех или иных особенностях анализируемых процессов, которые не могут быть выявлены с помощью традиционных преобразований Фурье и Лапласа. Принципиальное значение имеет возможность вейвлетов анализировать нестационарные сигналы с изменением компонентного содержания во времени или в пространстве. Вейвлеты – функции определенной формы, локализованные по оси аргументов (независимых переменных), инвариантные к сдвигу и линейные к операции масштабирования (сжатия\растяжения). Они создаются с помощью специальных базисных функций, которые определяют их вид и свойства [2]. Перечислим в табл. 2 некоторые направления, где в настоящее время широко применяются вейвлеты.

### **Методы прогнозирования сложных сигналов**

**Метод авторегрессии.** Это один из классических методов прогнозирования стационарных сигналов.

**Метод группового учета аргументов (МГУА).** Этот метод представляет собой дальнейшее развитие метода регрессивного анализа. Он основан на некоторых принципах теории обучения и самоорганизации, в частности, на принципе «селекции», или направленного отбора. Метод группового учета аргументов состоит из нескольких алгоритмов для решения разных задач. В него входят как параметрические алгоритмы, так и непараметрические алгоритмы кластеризации, комплексирование аналогов ребинаризации и вероятностные алгоритмы. Этот подход самоорганизации основан на переборе постоянно усложняющихся моделей и выборе наилучшего решения согласно минимуму внешнего критерия. В качестве базисных моделей используется не только полиномы, но и также нелинейные вероятностные функции или кластеризации. Большинство алгоритмов МГУА используют полиномиальную базисную функцию. Общая связь между входными и выходными переменными может быть выражен в виде функционального ряда Вальтера, дискретным аналогом которого является полином Колмогорова–Габор. Другие нелинейные базисные функции, например дифференциальные, логистические, вероятностные или гармонические, также могут быть применены для построения модели. Метод позволяет одновременно получить оптимальную структуру модели и зависимость выходных параметров от выбранных от наиболее значимых входных параметров системы.

**Нейронные сети.** Жесткие статические предположения о свойствах временных рядов ограничивают возможности методов математической статистики, теории распознавания образов, теории случайных процессов и т.п. Дело в том, что многие реальные процессы (природные, экономические, биологические, технологические) не могут адекватно быть описаны с помощью традиционных статических моделей (статистическое прогнозирование – вид прогнозирования, позволяющий разделить пространство состояний на области диагнозов или классов и отнести состояние к одной из этих областей, осуществляется на основании теории распознавания образов), поскольку, по сути, являются существенно нелинейными и имеют хаотическую, либо квазипериодическую, либо смешанную (стахастика+хаос+детерминизм) основу. В данной ситуации адекватным аппаратом для решения задач диагностики и прогнозирования могут служить искусственные нейронные сети, реализующие идеи

предсказания и классификация при наличии обучающих последовательностей. Нейронные сети нашли широкое применение в задачах прогнозирования сложных сигналов. Для прогнозирования, как правило, выделяют сети реальных базисных функций (RBF-сети) и многослойные перцептроны (MLP), которые выступают в качестве универсальных аппроксиматоров. Радиальные сети имеют один скрытый слой, состоящий из нейронов, воспроизводящих гауссову структуру отклика, тогда как MLP может иметь много скрытых слоев [2].

### Недостатки методов

Спектральный анализ не всегда хорош при анализе сложных сигналов, необходимо учитывать, что если найденная корреляция (коэффициент при определенном синусе или косинусе) велика, то существует строгая периодичность на соответствующей частоте в данных. А известно, что в сложных сигналах, как правило, отсутствует выраженная периодичность.

В основе метода компонентов лежат следующие допущения:

- (1) размерность данных может быть эффективно понижена путем линейного преобразования;
- (2) большую часть всей информации несут те направления, в которых дисперсия выходных данных максимальна.

Также недостатком метода главных компонентов является то, что направления, максимизирующие дисперсию, далеко не всегда максимизируют информативность.

Метод авторегрессии хорош для прогнозирования стационарных сигналов, для прогнозирования сложных сигналов существуют некоторые ограничения. Построение математической модели процесса позволяет путем подбора ее параметров на ретроспективе сигнала получать предиктор. Однако для сложных сигналов трудно однозначно подобрать или описать модель. Помимо сложности выбора вида моделей, качество оценки параметров во многом зависит от выбранного способа оценки.

При прогнозировании сложных сигналов многослойные перцептроны предпочтительнее сетей радиальных базисных функций [2, 3].

### Промежуточные результаты

Таким образом, выбор метода прогнозирования сложных сигналов есть задача сложная и для каждого конкретного случая, в зависимости от входных параметров, индивидуальная. Целью работы является более точное изучение классификация существующих методов прогнозирования сложных сигналов и внедрение в учебный процесс кафедры проектирования и безопасности компьютерных систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики для выполнения магистрантами лабораторных работ по дисциплине «Управление качеством электронных средств».

### Литература

1. Бондаренко И.Б., Гатчин Ю.А., Дукельский К.В. Управление качеством электронных средств. Методические указания к лабораторным работам. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2008.
2. Егошин А.В., Сидоркина И.Г. Анализ и прогнозирование сложных стохастических сигналов на основе методов выделения границ реализаций динамических систем. дисс. на соискание ученой степени к.т.н., СПб, 2009.
3. Павлов А.Н. Методы анализа сложных сигналов: Уч. пособие. – Саратов: Научная книга, 2008. – 120 с.

УДК 519.688

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ РАСЧЕТА ЦЕН ОПЦИОНОВ АЗИАТСКОГО ТИПА С ДИСКРЕТНЫМИ ДИВИДЕНДАМИ

**М.С. Косяков, М.В. Пономарев, Д.В. Иванов, Ю.А. Шполянский**

Рассмотрены методы расчета цен опционов азиатского типа с учетом выплаты дискретных дивидендов вне периода усреднения. Описан алгоритм расчета цен опционов методом Монте-Карло. Алгоритм применен для тестирования оригинального численного метода, основанного на аналитической аппроксимации Куррана и методе Кранка-Николсона. Получены оценки точности, даны соответствующие рекомендации по настройке сеточных параметров метода Кранка-Николсона. Рассмотрены перспективы продолжения работы по данному направлению.

**Ключевые слова:** азиатский опцион, метод Монте-Карло, конечно-разностные методы, метод Кранка-Николсона.

### Введение

Опционом называется производный финансовый инструмент, представляющий собой контракт, согласно которому потенциальный покупатель или продавец получает право (но не обязательство) совершить покупку (в случае call опциона) или продажу (в случае put опциона) некоторого базового актива по заранее оговоренной цене в определенный момент в будущем, называемый датой исполнения опциона [1]. Цена, по которой осуществляется покупка или продажа, называется ценой исполнения (strike price).

Выплата по европейскому (классическому) опциону определяется ценой базового актива в момент исполнения опциона и заранее оговоренной ценой исполнения. Данное условие открывает возможность манипуляций над ценой базового актива непосредственно перед исполнением опциона, что, в свою очередь, ведет к увеличению или уменьшению выплаты. Чтобы устранить данный недостаток, были изобретены так называемые азиатские опционы. Их отличительной особенностью является зависимость выплаты по такому опциону от усредненного значения цены базового актива или цены исполнения за некоторый промежуток времени (период усреднения). Часто этот промежуток составляет несколько дней перед датой исполнения опциона.

Одной из важнейших задач систем алгоритмической торговли, позволяющих совершать торговые операции на электронных финансовых рынках с помощью специализированных компьютерных систем, является расчет теоретических цен опционов в реальном времени с учетом постоянного изменения их параметров. Важно отметить, что теоретическое ценообразование азиатских опционов из-за наличия усреднения цен является гораздо более сложной математической задачей, нежели ценообразование европейских опционов. На сегодняшний день точных аналитических решений, позволяющих в реальном времени осуществлять расчет цены азиатских опционов, не существует. По этой причине для ценообразования опционов рассматриваемого типа широко применяются разнообразные численные методы, существенно отличающиеся сложностью реализации и скоростью вычислений, и обеспечивающие различную точность получаемых результатов. Однако в литературе не было найдено исчерпывающего объяснения оптимального способа расчета азиатских опционов с учетом выплаты дискретных дивидендов. В данной статье рассматриваются подходы для решения этой задачи, а именно, предлагается метод расчета опционов азиатского типа с дискретными дивидендами методом Монте-Карло, который затем используется также для исследования оригинального численного метода, основанного на аналитической аппроксимации Куррана [2] и методе Кранка-Николсона [1, 3]. Проводится сравнение результатов расчета, оценка точности работы рассматриваемых



методов, формулируются рекомендации по настройке параметров методов для увеличения точности результатов.

### Ценовые модели опционов

Для расчета цен опционов используются стохастические модели, называемые ценовыми моделями опционов. В их основе лежит постулирование стохастического процесса, моделирующего поведение цены базового актива.

Одна из наиболее популярных моделей расчета цен опционов – модель Блэка–Шоулза [1]. Модель Блэка–Шоулза отражает изменение цены опциона в зависимости от ряда параметров и формализуется в виде дифференциального уравнения

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS \frac{\partial V}{\partial S} - rV = 0, \quad (1)$$

где  $V$  – цена опциона,  $S$  – цена базового актива,  $r$  – безрисковая процентная ставка,  $\sigma$  – волатильность,  $t$  – время.

Выплата по европейскому колл (call) опциону связана с ценой актива следующим соотношением:

$$P(S) = V(S, T) = \max[(S(T) - K), 0], \quad (2)$$

где  $P$  – выплата по опциону при цене базового актива  $S$  на дату исполнения опциона  $T$ , при цене исполнения, равной  $K$ . Выплата по пут (put) опциону равна

$$P(S) = V(S, T) = \max[(K - S(T)), 0]. \quad (3)$$

В случае наличия выплат дивидендов по базовому активу его цена совершает скачок. При этом выполняется соотношение

$$V(S, t_d^-) = V(d(S), t_d^+), \quad (4)$$

где  $V(S, t)$  – значение опциона при цене базового актива  $S$  в момент времени  $t$ ,  $t_d^-$  – момент времени непосредственно перед выплатой дивиденда,  $t_d^+$  – момент времени непосредственно после выплаты дивиденда,  $d(S)$  – дивидендная политика. Дивидендная политика определяет динамику цены при выплате дивидендов [4]. В данной работе будет рассматриваться политика:

$$d(S) = \max(S - D, 0), \quad (5)$$

где  $D$  – величина дивиденда.

### Азиатские опционы

Как уже было сказано, отличительной особенностью азиатского опциона является то, что выплата по нему определяется усредненным значением цены базового актива, либо цены исполнения.

В зависимости от того, какая из цен усредняется и каким способом, выделяют различные типы азиатских опционов [5]:

- с усреднением по цене базового актива;
- с усреднением по цене исполнения;
- с арифметическим усреднением;
- с геометрическим усреднением;
- с непрерывным усреднением;
- с дискретным усреднением.

В данной работе ограничимся рассмотрением только опционов с дискретным арифметическим усреднением значения цены базового актива. Пусть даты, в которые

регистрируются значения цены базового актива для усреднения, равны  $t_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , где  $m$  - число дат усреднения. Тогда среднее арифметическое значения цены базового актива в момент времени  $t_i$  определяется суммой

$$A_i = \frac{1}{i} \sum_{k=1}^i S(t_k). \quad (6)$$

Каждое последующее значение  $A_i$ , кроме того, можно выразить через предыдущее:

$$A_i = \frac{i-1}{i} A_{i-1} + \frac{1}{i} S(t_i). \quad (7)$$

Поскольку при дискретном усреднении значение усредненной цены изменяется при учете каждой следующей цены базового актива, то изменяется и значение цены самого опциона. Взаимосвязь значений опциона непосредственно перед учетом очередной цены и непосредственно после него можно выразить следующим соотношением [1]:

$$V(S, A, t_i^-) = V\left(S, \frac{i-1}{i} A + \frac{1}{i} S, t_i^+\right), \quad (8)$$

где  $t_i^-$  - момент времени непосредственно перед очередным усреднением цены актива, а  $t_i^+$  - момент времени непосредственно после усреднения. Выплаты по азиатским колл и пут опционам равны соответственно

$$P(S, A) = V(S, A, T) = \max[(A - K), 0], \quad (9)$$

$$P(S, A) = V(S, A, T) = \max[(K - A), 0]. \quad (10)$$

### Метод Монте-Карло расчета теоретических цен

Метод Монте-Карло основан на проведении большого числа испытаний, в основе которых лежит стохастический процесс, параметры которого совпадают с параметрами реального процесса. В нашем случае мы воспользуемся моделью Блэка-Шоулза изменения цены актива [6]:

$$S(t + \Delta t) = S(t) \exp\left(\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)\Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} X\right), \quad (11)$$

где  $S(t)$  - цена актива в момент времени  $t$ ,  $X$  - случайная величина, имеющая стандартное нормальное распределение. Теоретическая цена азиатского опциона в настоящий момент времени  $t_0$  определяется выражением

$$V(S, t_0) = \exp(-r(T - t_0)) E\{P(S, A)\}, \quad (12)$$

где  $E\{x\}$  - математическое ожидание случайной величины  $x$ . В дальнейшем в работе будем считать  $t_0 = 0$ .

По формуле (11) для каждой реализации стохастического процесса мы можем определить значение цены актива  $S(t_d)$  в момент выплаты дивиденда  $t_d$ , а также в каждый из моментов усреднения  $t_i$ . Необходимо отметить, что в момент выплаты дивиденда  $t_d$  цена актива подлежит изменению согласно выражению (5). Выплаты по азиатским call и put опционам  $P_k$  для  $k$ -ого испытания определяются выражениями (9) и (10). Оценки математического ожидания и дисперсии для  $N$  реализаций равны соответственно:

$$\hat{P} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N P_k, \quad (13)$$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (P_k - \hat{P})^2, \quad (14)$$

а оценка теоретической цены азиатского опциона определяется согласно (12). В работе рассматривался 95-процентный доверительный интервал получаемой оценки выплаты по азиатскому опциону, определяемый диапазоном  $\left[\hat{P} - 1,96s/\sqrt{N}; \hat{P} + 1,96s/\sqrt{N}\right]$ .

Расчет цены азиатского колл опциона с дискретными дивидендами вне периода усреднения ( $t_d < t_1$ ) и арифметическим усреднением по методу Монте-Карло можно проиллюстрировать с помощью псевдокода:

```

set sum=0;
for k=1 to N
    generate  $S(t_d)$  using  $S(0)$ ;
    set  $S(t_d) = \max(S(t_d) - D, 0)$ ;
    generate  $S_1$  using  $S(t_d)$ ;
    for i=2 to m
        generate  $S_i$  using  $S_{i-1}$ ;
    end
    set  $sum = sum + \max\left(\left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i - K\right), 0\right)$ ;
end
set  $V = \exp(-rT) \frac{sum}{N}$ ;

```

Данный алгоритм был реализован на языке C++. Для получения нормального распределения из равномерного использовалось преобразование Бокса–Мюллера [7, 8].

Стоит отметить, что одним из недостатков прямого метода Монте-Карло является низкая скорость сходимости. Так, для уменьшения ширины доверительного интервала, пропорциональной  $s/\sqrt{N}$ , в 10 раз, необходимо увеличить количество испытаний  $N$  в 100 раз. Это сильно ограничивает использование прямого метода Монте-Карло в задачах алгоритмической торговли и чаще всего требует применения дополнительных средств, если расчет цен опционов другими методами невозможен.

### Анализ численного метода расчета теоретических цен

Низкая скорость сходимости метода Монте-Карло и, как следствие, большое время вычислений и (или) высокие требования к производительности используемого оборудования вынуждают искать альтернативные подходы к расчету цен азиатских опционов с дискретными дивидендами. В этой связи в работе предлагается воспользоваться приближенным численным методом, являющимся комбинацией аналитической аппроксимации Куррана [2] для оценки изменения цены опциона за период усреднения согласно (8) и метода Кранка–Николсона решения дифференциального уравнения (1) с учетом выплаты дивидендов (4) [1]. Для проверки допустимости предлагаемого подхода и определения параметров, влияющих на точность расчетов, было проведено сравнительное тестирование оригинального численного метода с помощью метода Монте-Карло. В ходе тестирования осуществлялся расчет цены опциона обоими методами при различных параметрах.

На рисунке представлена зависимость относительной погрешности  $\Delta$  определения цены азиатского колл опциона  $V$  численным методом от цены базового актива  $S$  при различных значениях волатильности. Данная зависимость построена для следующих значений параметров вычисления:

- цена исполнения опциона  $K = 166$  у.е.;
- время истечения опциона  $T = 1$  год;

- даты усреднения: ежедневно в течение последних 10 дней ( $m = 10$ );
- безрисковая процентная ставка  $r = 0.10$  в год;
- моменты выплаты дивидендов  $t_d^1 = 0,11$ ;  $t_d^2 = 0,41$ ;  $t_d^3 = 0,75$  года;
- соответствующие размеры дивидендов  $D^1 = 5,3$ ;  $D^2 = 9,2$ ;  $D^3 = 12,7$  у.е.

При этом число испытаний для метода Монте-Карло составляло  $N = 10^7$ . Параметры сетки в численном методе решения дифференциального уравнения (1) определялись значениями максимальной цены  $S_{max} = 3K$ , минимальной цены  $S_{min} = 0$  и количеством шагов равномерной сетки по цене актива  $n_S = 150$  и времени  $n_t = 200$  шагов/год.

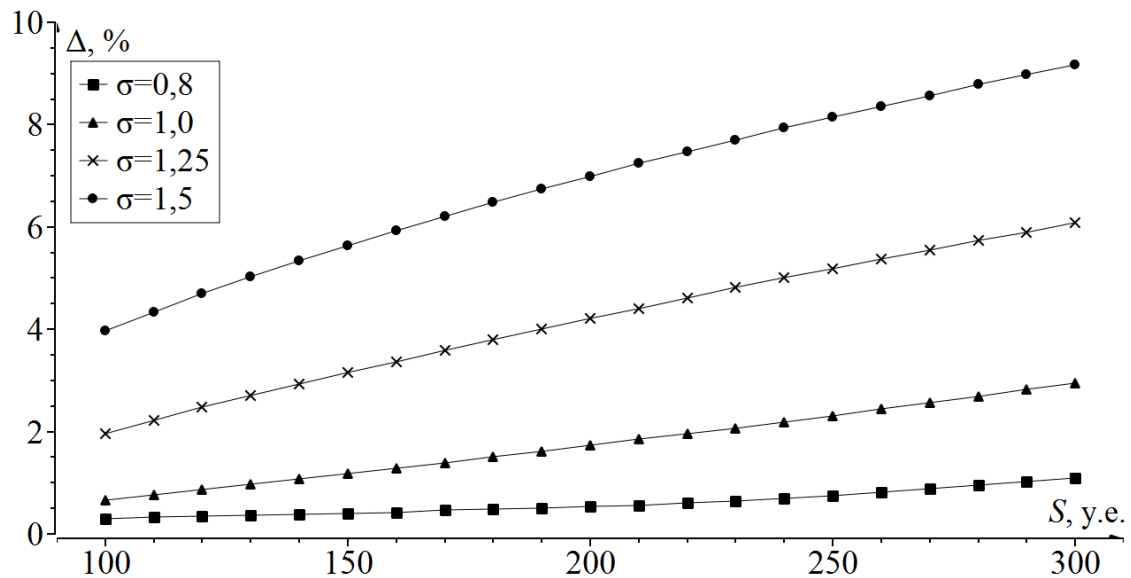


Рисунок. Относительная погрешность численного метода

Как видно из рисунка, относительная погрешность  $\Delta$  численного метода расчета цен азиатских опционов тем выше, чем выше значение волатильности. Подобное поведение наблюдалось и при других значениях параметров вычисления.

Для уменьшения относительной погрешности численного метода при значениях волатильности  $\sigma \in [1; 1,5]$  было предложено увеличивать размер сетки в 2–3 раза. В таблице приведен результат сравнения методов расчета цен азиатских опционов, определяющий зависимость точности численного метода от параметров сетки, для случая однократной выплаты дивиденда размером  $D = 12,7$  у.е. в момент времени  $t_d = 0,75$  года, начиная с настоящего момента, при значении волатильности  $\sigma = 1,5$ .

Параметры сетки для численного метода	Цена базисного актива, у.е.	Цена опциона, численный метод, у.е.	Цена опциона, метод Монте-Карло, у.е.	Относительная погрешность, %
$S_{max} = 3K$ , $n_S = 150$ , $n_t = 200$ шагов/год	200	107,83	117,39	8,1
	300	182,53	200,73	9,1
	400	259,16	291,18	11,0
$S_{max} = 7K$ , $n_S = 450$ , $n_t = 400$ шагов/год	200	116,095	117,39	1,1
	300	199,79	200,73	0,46
	400	287,81	291,18	1,2

Таблица. Изменение параметров сетки для уменьшения относительной погрешности вычисления предложенным численным методом

Как видно из таблицы, при достаточном числе узлов сетки относительная погрешность расчета предложенным численным методом не будет превышать 2%.

Таким образом, можно сделать вывод, что благодаря небольшой погрешности вычислений при правильно выбранных параметрах сетки и относительно высокой скорости расчета, составляющей единицы миллисекунд на стандартном ПК в сравнении с десятками секунд вычислений для метода Монте-Карло, предложенный численный метод расчета цен азиатских опционов с дискретными дивидендами является предпочтительным для решения задач алгоритмической торговли в сравнении с методом Монте-Карло.

### Заключение

В работе рассмотрена задача расчета теоретических цен опционов азиатского типа с дискретными дивидендами и арифметическим усреднением, не имеющая точного аналитического решения. Описан алгоритм решения данной задачи методом Монте-Карло. Расчет цены опциона по методу Монте-Карло является прямым и имеет погрешность, определяемую шириной получаемого доверительного интервала. Однако низкая скорость сходимости прямого метода Монте-Карло существенно ограничивает его применение в системах алгоритмической торговли.

В этой связи в работе предлагается воспользоваться приближенным численным методом, являющимся комбинацией аналитической аппроксимации Куррана и метода Кранка–Николсона. Для проверки допустимости предлагаемого подхода и определения параметров, влияющих на точность расчетов, было проведено сравнительное тестирование оригинального численного метода с помощью представленного метода Монте-Карло. Получена оценка погрешности вычислений, сформулированы рекомендации по настройке параметров методов для увеличения точности результатов.

Для улучшения сходимости процесса вычислений методом Монте-Карло можно применить его модификации, направленные на уменьшение дисперсии случайной величины. Кроме того, в качестве дополнительных средств мы видим возможность применения методов параллельного программирования, таких как технология OpenMP или массово-параллельные вычисления с использованием технологии CUDA, для ускорения расчетов цен экзотических опционов методами Монте-Карло, когда использование других методов невозможно.

### Литература

1. Willmott P. On quantitative finance. Wiley, 2nd ed. 2006.
2. Curran M. Beyond average intelligence. Risk (October) №60. 1992.
3. Формалев В.Ф., Ревизников Д.Л. Численные методы. – М.:Физматлит, 2004. – 400 с.
4. Haug E.G., Haug J., Lewis A. Back to Basics: a new approach to the discrete dividend problem / Wilmott magazine. September, 2003. P.34-47.
5. Haug E.G. The complete guide to option pricing formulas. McGraw-Hill, 2nd ed. 2007.
6. Hongbin Zhang. Pricing Asian Options using Monte Carlo Methods / Department of Mathematics Uppsala University, 2009.
7. Reuven Y. Rubinstein, Dirk P. Kroese Simulation and the Monte Carlo Method / John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2008.
8. M.S.Joshi C++ Design Patterns and Derivatives Pricing / University of Melbourne, 2008.

УДК 339.3 (075/8)

## ИЗУЧЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИЙ СЫРОВ, СУЩЕСТВУЮЩИХ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Е.Ю. Пятковская, А.А. Прусс

В статье дан анализ классификаций сыров, принятых в нормативно-технической документации, учебной и технической литературе.

**Ключевые слова:** классификация, сычужные сыры, созревание, микрофлора.

Российский рынок сыров является неотъемлемой частью рынка молочной продукции в России. Ежегодный прирост этого рынка составляет примерно 15%. Среднедушевое потребление сыра в последние годы неуклонно растет и достигло 4,8 кг по всей Российской Федерации и около 5,7 кг в Москве и Санкт-Петербурге. Уровень потребления сыра составляет 74% от рекомендованной нормы, а в Москве и Санкт-Петербурге – 88%. Однако, в европейских странах этот показатель достигает 10–20 кг в зависимости от страны.

Импорт сыров в Россию более чем в 28 раз превосходит экспорт. В 2010 году более 30 стран стали импортерами сыра в Россию. Основные поставщики – страны СНГ, среди которых доминируют Республика Беларусь – 35,2%, Украина – 18,8%. Значительную часть экспорта составляют сыры из Германии, Финляндии, Франции, Италии и Швейцарии. В начале 2010 года были увеличены импортные пошлины на сыр. До этого момента действовала регрессивная шкала: чем дороже сыр, тем ниже была на него пошлина. В настоящее время введена единая ставка в размере 15% от таможенной стоимости сыра, но не менее 0,5 евро за 1 кг: с сыров, которые стоят до 3,3 евро, будет взиматься пошлина в размере 0,5 евро. С более дорогих – уже 15%. Эти факты говорят об актуальности выбранной темы исследования.

Технологии изготовления сыров в перечисленных странах имеют свои особенности, что выражается и в классификации. Например, в Германии согласно действующему в настоящее время «Положению о сыре», их классифицируют по двум критериям: по содержанию воды в сухом веществе и по степени жирности.

Финляндия производит свои оригинальные традиционные сыры, которые классифицируют следующим образом: полутвердые и свежие.

Эксперты подразделяют французские сыры на 7 больших групп: свежие, невареные прессованные, вареные прессованные, мягкие сыры: с плесневой корочкой, мягкие сыры: с обмытыми краями, голубые сыры с плесенью, сыры из козьего и овечьего молока.

Итальянские сыры делят на несколько групп: твердые, полутвердые, полумягкие, свежие, мягкие, голубые, растянутые, сывороточные, выдержанные.

Сыры, произведенные в Швейцарии, делят на полутвердые и твердые.

Задачей нашей работы был анализ классификаций сыров, представленных в российской нормативно-технической документации, а также составленной отечественными специалистами.

Классификация сыров по ТНВЭД выглядит следующим образом:

- 0406 Сыры и творог.
- 040610 Сыры молодые (недозрелые или невыдержанные), включая сывороточно-альбуминовые сыры, и творог.
- 040610200 Сыры молодые (недозрелые или невыдержанные), включая сывороточно-альбуминовые сыры, и творог с содержанием жира не более 40 мас. %.
- 0406102001 Творог с содержанием жира не более 40 мас. %.

- 0406102009 Прочие сыры и творог с содержанием жира не более 40 мас. %.
- 0406108000 Прочие молодые сыры (недозрелые или невыдержанные), включая сывороточно-альбуминовые сыры и творог.
- 040620 Тертые сыры или сыры в порошке всех сортов.
- 0406201000 Сыр Гларский "Шабцигер" тертый или в порошке, приготовленный из обезжиренного молока с добавлением тонкоизмельченных ароматических трав.
- 0406209000 Прочие сыры тертые или в порошке, всех сортов.
- 040630 Плавленные сыры, нетертые и не в порошке.
- 0406301000 Плавленные сыры, нетертые и не в порошке, при производстве которых использовались лишь сыры Эмменталер, Грюйер, Аппенцеллер и которые могут включ. Гларский «Шабцигер», с содерж. жира не бол.56 мас. %.
- 0406303100 Прочие плавленные сыры с содержанием жира не более 36% при содержании его в сухом веществе не более 48 мас. %.
- 0406303900 Прочие плавленные сыры с содержанием жира не более 36% при содержании его в сухом веществе более 48 мас. %.
- 0406309000 Прочие сыры плавленные с содержанием жира по массе более 36%.
- 040640 Голубые сыры.
- 0406401000 Голубой сыр – Рокфор.
- 0406405000 Голубой сыр – Горгонзола.
- 0406409000 Прочие голубые сыры.
- 040690 Прочие сыры.

В соответствии с ГОСТ Р 52686-2006 «Сыры. Общие технические условия» сыры подразделяют: в зависимости от наличия и срока созревания: на зрелые и без созревания; в зависимости от массовой доли влаги в обезжиренном веществе – на мягкие, полутвердые, твердые, сверхтвердые, сухие; в зависимости от массовой доли жира в пересчете на сухое вещество – на высокожирные, жирные, полужирные, низкожирные, нежирные.

В соответствии с ГОСТ 7616-85 «Сыры сычужные твердые. Технические условия» сыры подразделяют на: прессуемые, с высокой температурой второго нагревания (советский, швейцарский, алтайский); прессуемые, с низкой температурой второго нагревания (голландский круглый, голландский брусковый, костромской, ярославский, эстонский, степной, угличский); самопрессующиеся, с низкой температурой второго нагревания, созревающие при участии микрофлоры сырной слизи (латвийский).

В соответствии с ГОСТ 27568-87 «Сыры сычужные твердые для экспорта. Технические условия» сыры подразделяют на: прессуемые, с высокой температурой второго нагревания (советский); прессуемые, с низкой температурой второго нагревания (голландский круглый, голландский брусковый, костромской, ярославский); прессуемые, с повышенным уровнем молочнокислого процесса (российский большой, российский малый, российский брусковый, атлет).

Известны также классификации ведущих отечественных ученых: А.Н. Королева, И.Б. Гисина, А.И. Чеботарева, З.Х. Диланяна и др. В целом они представляют собой товароведческую, технологическую классификацию сыров или их сочетание. В числе первых была предложена технологическая классификация А.Н. Королевым:

1. Твердые: группа швейцарского сыра; группа голландского сыра; группа смоленского сыра; группа чеддера; группа терочных сыров.
2. Мягкие: группа деликатесных сыров; группа рокфора; группа медынского сыра; группа гарцкого сыра.
3. Горшечные и бурдючные.
4. Рассольные.
5. Переработанные.

Классификация сыров по И.Б. Гисину может быть отнесена к технологической классификации сычужных сыров и представлена в виде табл. 1. В ней представлены в основном сыры, вырабатываемые в бывшем СССР, и практически нет сыров, вырабатываемых в других странах, хотя любая система классификации должна носить интернациональный характер и быть удобной, компактной.

Приведенные в системе И.Б. Гисина кисломолочные виды сыров, за исключением творога, в настоящее время не вырабатывают, а сыры на основе кислотно-сычужного свертывания представлены только сыром Чайным. К числу недостатков может быть отнесен такой признак первого порядка классификации, как кислотность молока после созревания, поскольку при выработке сыров из пастеризованного молока требования к кислотности молока практически одинаковы для всех сыров. В классификации отсутствуют значения температуры второго нагревания.

В этой системе для классификации сыров широко использованы такие технологические приемы, как чеддеризация и плавление сырной массы, применяемые в производстве небольшого количества сыров. При этом классификация И.Б. Гисина удобна и компактна.

Кислотность М после созревания, Т°		> 22				20-22				< 20				
		В	С	Н	О	В	С	Н	О	В	С	Н	О	
Сухая корка	А. Созревающие на воздухе													
	Прессуемые	Без плавления	3	+	+	-	3	+	+	-	2	1	1	-
		С плавлением	+	10	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-
	Прессование слабое или отсутствует	Без плавления	-	+	+	7	-	6	5	+	-	+	4	+
		С плавлением	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-
		Плесень внутри	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
Слизь на корке	Прессование слабое или отсутствует	Без плавления	-	+	+	7	-	6	5	+	-	+	+	+
		С плавлением	-	-	-	9	-	-	-	+	-	-	-	+
		На поверхности	-	-	+	8	-	-	+	+	-	-	+	+
В, форме, пленке, ткани и др.	Прессуемые	Без плавления	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-
		С чеддеризацией	-	+	+	-	-	+	12	-	-	+	+	-
		С плавлением	+	10	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-
	Прессование слабое или отсутствует	Без плавления	+	+	+	+	-	18	19	-	19	19	19	+
		С чеддеризацией	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
		Плесень на корке	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
	Б. Созревающие в рассоле													
		Самопрессующиеся	-	-	-	+	-	-	-	20	-	-	-	20
		Прессуемые	-	+	+	-	-	+	13	-	-	+	+	-
	С чеддеризацией и плавлением	14	-	-	-	+	-	15	-	+	-	+	-	
Примечания: 1) М - молоко, В – высокая; С - средняя; Н - низкая; О - отсутствует; «+» - возможные варианты; «-» - невозможные или сомнительные варианты; 2) 1 - Голландский, Ярославский, Костромской, Степной; 2 – Советский, Московский, Кубанский; 3 - Сбринц, Горно-Алтайский терочный; 4 - Угличский; 5 - Латвийский, Краснодарский, Пикантный; 6 - Волжский; 7 - Дорогобужский; 8 – Смоленский, Закусочный; 9 - Рокфор; 10 - Качкавал, Южный; 12 - Чеддер, Российский; 13 – Чанах, Тушинский. Кобийский, Осетинский; 14 - Чечиль; 15 - Сулугуни; 18 - Заралагесский; 19 - Мотал; 20 - брынза.														

Таблица 1. Классификация сыров по И. Б. Гисину

Система А.И. Чеботарева включает около 160 сыров, которые он разделил на 3 класса: сычужные (подклассы: твердые и мягкие), кисломолочные и переработанные (плавленные). Классы и подклассы в его квалификации делятся на группы, в которых выделены типовые виды. Для каждой группы даны краткие товароведческая и технологическая характеристики, перечень аналогов и близких по свойствам видов



сыров. Однако некоторые сыры, которые в ней приняты за типовые, сейчас не производятся или вырабатываются в небольших количествах. Классификация А.И. Чеботарева не удобна для использования в международной практике, поскольку технология сыров, принятых за типовые, малоизвестна в зарубежной научной и производственной деятельности.

Технологическая классификация, предложенная З.Х. Диланьяном, учитывает различия в характере ферментативных процессов, протекающих в сырах под воздействием микрофлоры, вносимой в составе закваски. Согласно этой классификации, все сыры делятся на три класса: сычужные, кисломолочные и переработанные, внутри которых выделены подклассы

1-ый класс. Параказеиновые (сычужные) сыры

1.1.подкласс. Возбудители – молочнокислые и пропионовокислые бактерии (твердые сыры)

А. Сыры с высокотемпературной обработкой сырной массы:

а. прессуемые (с гладкой замкнутой поверхностью);

б. самопрессующиеся с чеддеризацией и плавлением сырной массы до формования.

Б. Сыры с низкотемпературной обработкой сырной массы:

а. прессуемые (с гладкой замкнутой поверхностью);

б. прессуемые с полной или частичной чеддеризацией сырной массы;

в. самопрессующиеся (с незамкнутой, шероховатой поверхностью);

г. самопрессующиеся, потребляемые в свежем виде;

д. сыры, созревающие в рассольной среде:

1. без чеддеризации

2. с чеддеризацией

1.2.подкласс. Возбудители – молочнокислые и слизиобразующие бактерии (полутвердые самопрессующиеся сыры)

1.3.подкласс. Возбудители – слизиобразующие и молочнокислые бактерии, плесени:

а. сыры, созревающие под влиянием щелочеобразующих бактерий сырной слизи и молочнокислых бактерий;

б. сыры, созревающие под влиянием щелочеобразующих бактерий сырной слизи, плесеней и молочнокислых бактерий;

в. сыры, созревающие под влиянием плесеней и молочнокислых бактерий

1. плесень внутри сыра;

2. плесень на поверхности сыра;

2-й класс. Казеиновые (кисломолочные) сыры:

2.1.подкласс. Свежие сыры;

2.2.подкласс. Выдержанные сыры;

3-й класс. Переработанные сыры;

3.1.подкласс. Плавленные сыры;

3.2. подкласс. Прочие.

Данная классификация, как и вышерассмотренные, имеет свои существенные недостатки. Положительным в ней является использование состава необходимой микрофлоры в качестве основания для классификации сыров.

По типу основного сырья сыры делят на натуральные и переработанные. Натуральные сыры вырабатывают из коровьего, овечьего, козьего, буйволиного молока или их смесей. Для переработанных сыров основным сырьем являются натуральные сыры. Натуральные и переработанные сыры различаются принципиально и классифицируются по разным признакам. К группе натуральных сыров относят:

твердые сычужные сыры, созревающие при участии молочнокислой микрофлоры, с высокой температурой второго нагревания, с низкой температурой второго нагревания и с низкой температурой второго нагревания и повышенным уровнем молочнокислого брожения; твердые сычужные сыры, созревающие при участии молочнокислых бактерий и микрофлоры сырной слизи; сыры мягкие, сыры рассольные, сыры и сырные массы для выработки плавленых сыров.

В зависимости от способа коагуляции все сыры подразделяют на ферментированные, кисломолочные и термокислотные.

Сыры в зависимости от используемой основной заквасочной микрофлоры подразделяют на сыры с мезофильной молочнокислой микрофлорой, с термофильной молочнокислой микрофлорой; со смешанной микрофлорой (мезофильной и/или термофильной молочнокислой микрофлорой, и/или с пропионовокислыми бактериями, и/или бифидобактериями); с плесенью и слизевые. В зависимости от температуры второго нагревания – сыры с низкой температурой второго нагревания; с высокой температурой второго нагревания, с промежуточной температурой второго нагревания.

Сыры в зависимости от других основных отличительных технологических признаков подразделяют на сыры с чеддеризацией; с термомеханической обработкой; с чеддеризацией и термомеханической обработкой; рассольные; сухие и копченые. При этом в зависимости от наличия и срока созревания сыры подразделяют на свежие и зрелые. Зрелые сыры по срокам созревания разделяют на 4 группы, которые представлены в таблице 2.

Наименование группы сыров	Срок созревания, сут.
Мягкие	Менее 10
Полутвердые	Менее 30
	30 и более
Твердые	30 и более
Сверхтвердые	30 и более

Таблица 2. Классификация сыров по срокам созревания

В зависимости от массовой доли влаги в обезжиренном веществе сыры подразделяют на мягкие, полутвердые, твердые и сверхтвердые сыры (таблица 3).

Наименование группы сыров	Массовая доля влаги в обезжиренном веществе, %
Мягкие	не менее 67,0
Полутвердые	от 54,0 до 69,0
Твердые	от 49,0 до 56,0
Сверхтвердые	менее 51,0
Сухие	менее 15,0

Таблица 3. Классификация в зависимости от массовой доли влаги в обезжиренном веществе

В зависимости от массовой доли жира в сухом веществе сыры подразделяют на сыры высокожирные, жирные, полужирные, низкожирные и нежирные (таблица 4).

Наименование группы сыров	Массовая доля жира в сухом веществе
Высокожирные	60,0 и более
Жирные	от 45,0 до 59,9
Полужирные	от 25,0 до 44,9
Низкожирные	от 10,0 до 24,9
Нежирные	Менее 10,0

Таблица 4. Классификация в зависимости от массовой доли жира в обезжиренном веществе

По нашему мнению, классификация сыров должна основываться на тех показателях, которые оказывают решающее влияние на их органолептические свойства и пищевую ценность. К таким показателям относятся: тип основного сырья, способ свертывания молока, участвующая в производстве сыра микрофлора, главные показатели химического состава и принципиальные особенности технологии. Это и является направлением наших дальнейших исследований.

### Литература

1. Тихомирова Н.А. Технология и организация производства молока и молочных продуктов. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 560с.
2. Бегунов В.Л. Книга о сыре. О его питательных и вкусовых свойствах, ассортименте и способах потребления. - М.: Пищевая промышленность, 1975. - 216с.
3. Барышев Г.А. Технология сыра. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984 – 312с.
4. ТН ВЭД России: Товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности Российской Федерации. – СПб.: Тирекс, 2007 – 1016с.
5. <http://www.tdpir.ru>

УДК 535.015

## СВОЙСТВА КРЕМНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ФОТОНИКЕ

С.С. Рыбин, А.М. Скворцов

Развитие электроники на сегодняшний момент достигает своих физических пределов, фундаментальных ограничений. Поэтому дальнейшее ее развитие заключается в переходе электронной базы в область оптоэлектроники. В статье рассмотрены оптические свойства кремния, позволяющие использовать его как материал для разработки оптоэлектронных устройств.

**Ключевые слова:** спектральная характеристика, показатель преломления, метаматериалы, двулучепреломление.

### Введение

Кремниевая фотоника – одно из наиболее перспективных направлений оптоэлектроники. Потребность в ее развитии является следствием постоянно растущих объемов информации, которые необходимо хранить, обрабатывать и передавать. А также необходимостью сопряжения оптических и электронных устройств в технологическом цикле. Очевидно, что это возможно при использовании оптических свойств кремния, как основного материала электроники.

### Спектральная характеристика

Одним из главных оптических характеристик кремния является его спектр пропускания. Он изображен на рис 1. Здесь можно выделить характерные полосы пропускания, локализующиеся в пределах 1,2–7 мкм и более 50 мкм [1]. Очевидно, что кремний является прозрачным материалом для электромагнитных волн этих частот. Следовательно, можно сделать вывод, что в данных полосах кремний можно использовать в качестве материала для волноводов, линз и т. п. Однако есть и другая сторона, заключающаяся в невозможности использования кремния как материала, детектирующего кванты с этими частотами.

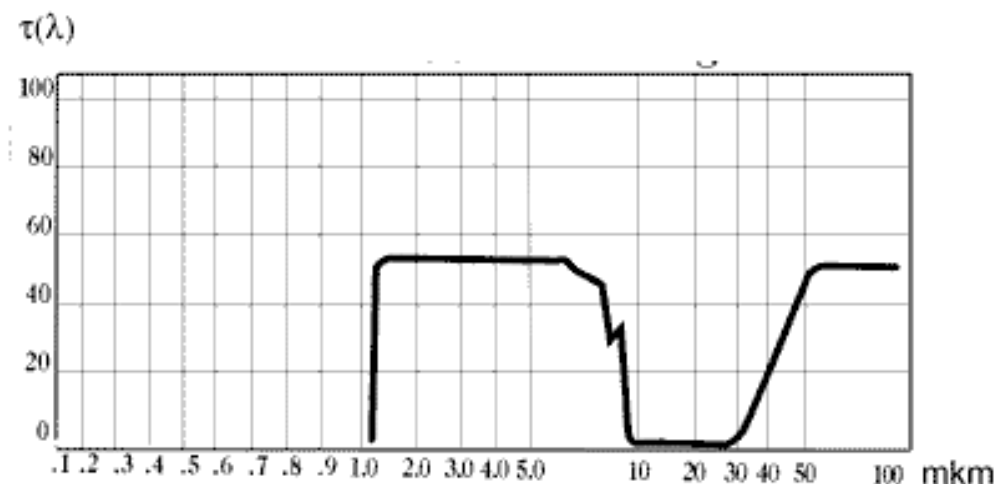


Рис. 1. Спектральная характеристика показателя пропускания

Также важной оптической характеристикой материала является его показатель преломления. В практических целях он имеет значимость только в окнах прозрачности. Поэтому можно сказать, что показатель преломления в первом «окне» находится в пределах от 3,42 до 3,49. График спектральной зависимости показателя преломления показан на рис. 2. Участок кривой в районе 1-2 мкм имеет очень крутой наклон, следовательно, можно судить о высокой дисперсии в этой полосе.

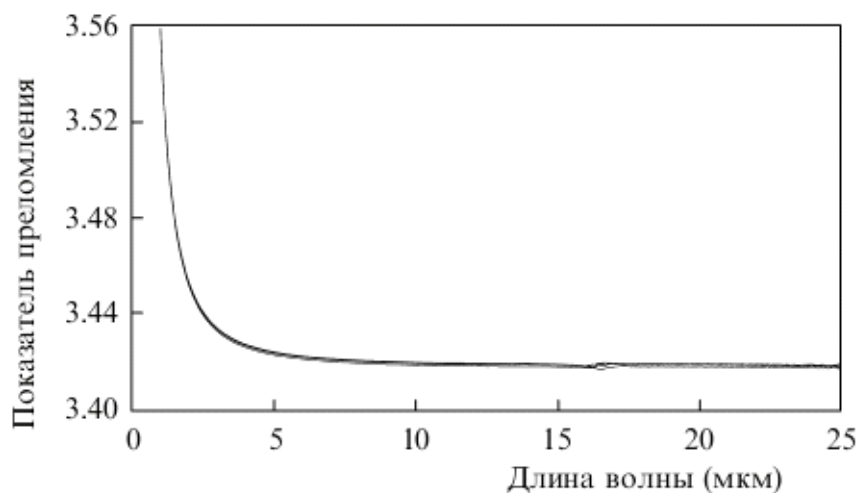


Рис. 2. Спектральная характеристика показателя преломления

Поскольку монокристаллический кремний имеет симметричную кубическую решетку, то отсутствует оптическая анизотропия и, как следствие, дихроизм и электрооптический эффект. Однако стоит упомянуть, что эта проблема устраняется в метаматериалах на основе кремния, что и будет показано ниже.

### Излучательная рекомбинация

Кремний относится к группе непрямозонных полупроводников, у которых дно зоны проводимости и пололок валентной зоны разнесены в  $k$ -пространстве. Это означает, что в данном случае преобладает рекомбинация с изменением псевдоимпульса. Следовательно, такая рекомбинация является безызлучательной, точнее? Оже-рекомбинацией. Однако это не исключает возможности протекания излучательных

процессов. Совокупная квантовая эффективность зависит от соотношения скоростей протекания излучательной и Оже-рекомбинации. Стоит заметить, что скорость первой сильно зависит от температуры и в пределах от 20 до 330 К изменяется на 5 порядков. Соответствующий график приведен на рис. 3, а совокупная квантовая эффективность при комнатной температуре составляет около  $10^{-6}$ .

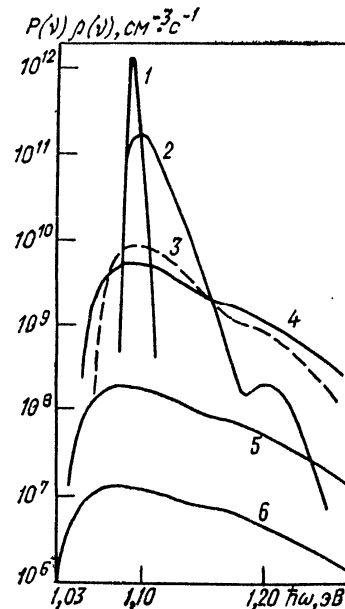


Рис. 3. Скорость излучательной рекомбинации в кремнии при различных температурах. 1 – 20 К, 2 – 90 К, 3 – 195 К, 4 – 249 К, 5 – 290 К, 6 – 330 К.

### Свойства метаматериалов на основе кремния

Метаматериалы обладают отличными оптическими свойствами, в отличие от кристаллических веществ. Стоит пояснить, что метаматериалы – композиционные материалы, свойства которых обусловлены искусственно созданной периодической структурой. Метаматериалы на основе кремния могут быть различных видов: от известного своими свойствами пористого кремния до фотонных кристаллов с кремниевыми кластерами, встроенными в матрицу из диоксида кремния. При этом размеры пор или нанокристаллов не должны превышать единиц нанометров [2]. В таких условиях проявляются квантоворазмерные эффекты. Нельзя не заметить, что показатель преломления в таком случае значительно падает.

Например, люминесценция в пористом кремнии намного превосходит по квантовой эффективности люминесценцию в монокристалле. Причина этому – квантование энергии экситонов, благодаря аннигиляции которых и генерируются электромагнитные кванты. В монокристаллическом кремнии энергия связи экситона равна 0,014 эВ, в то время когда средняя энергия фононов равна 0,026 эВ. Учитывая распределение Планка, очевидно, что количество экситонов весьма невелико. Однако при уменьшении размеров кристалла до размеров 3 нм энергия связи экситона возрастает до 0,3 эВ, что значительно больше энергии фонона. Следовательно, значительно уменьшается вероятность генерации фононов при аннигиляции экситонов, и спектр излучения смещается в коротковолновую область. Также следует заметить, что в таком случае значительно расширяется спектр излучения. Это вызвано наличием квантования электронных уровней.

Как уже упоминалось ранее, монокристалл кремния не обладает оптической анизотропией [3]. В ходе исследования свойств пористого кремния выяснилось, что он

обладает оптической осью, параллельной осям пор. Также следует заметить, что показатель двулучепреломления в таком случае составляет 0,2. График зависимости приведен на рис. 4. Ограничение, наложенное спектром пропускания кремния, можно обойти, окислив пористый кремний и получив материал с двойным лучепреломлением 0,024, но уже прозрачный в видимом диапазоне.

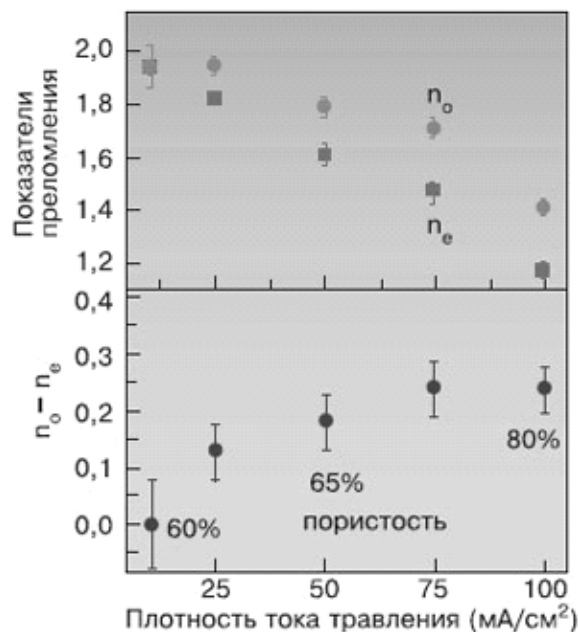


Рис. 4. Зависимость показателей преломления от пористости.

### Заключение

Свойства кремния, описанные выше, позволяют эффективно применять его как материал в фотонике. В частности, следует выделить указанные особенности метаматериалов на основе кремния. Использование их в рамках современной микроэлектронной технологии позволит совершить качественный рывок в области оптоэлектроники

### Литература

1. Показатель преломления монокристаллов моноизотопных  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{29}\text{Si}$  и  $^{30}\text{Si}$  в ближнем и среднем ИК диапазонах[Текст] / В. Г. Плотниченко, В. О. Назарьянц, Е. Б. Крюкова, В. В. Колташев // Квантовая электроника, Письма. – 2010. –№9. – С. 753-755. – Библиогр.: с. 18.
2. Оптические свойства нанокompозитов на основе пористых систем[Текст] / Л. А. Головань, В. Ю. Тимошенко, П. К. Кашкаров// Успехи физических наук, Обзоры актуальных проблем. – 2007. –№6. – С. 619-638. – Библиогр.: с. 128.
3. Гавриленко В.И., Грехов А.М., Корбутяк Д.В., Литовченко В.Г. Оптические свойства полупроводников. Справочник.[Текст] / В. И. Гавриленко, А. М. Грехов, Д. В. Корбутяк, В. Г. Литовченко, Академия наук Украинской ССР, Ин-т полупроводников. – Киев: Наукова Думка, 1987. – 608 с..

УДК 519.2

## МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Я.В. Самойленко, Г.П. Жигулин

Рассмотрены проблемы, свойственные биометрическим системам идентификации, и методы решения некоторых из них. Хотя производимый анализ ориентируется на распознавание отпечатков пальцев, он может быть распространен и на другие биометрические методы идентификации. Зная этапы процесса идентификации и используя общие принципы распознавания в биометрических системах, легко обнаружить «уязвимые точки» биометрических систем. Подробно рассмотренные угрозы позволяют определить несколько методов противостояния атакам в различных точках уязвимости. А для самого уязвимого места произвести анализ угрозы атаки полным перебором. Результатом такого статистического анализа для биометрических данных является определение наиболее важных моментов при использовании биометрии, в частности, дактилоскопических данных.

В последнее десятилетие наблюдается стремительное развитие биометрических систем идентификации. Проблема с биометрической системой возникает тогда, когда данные, связанные с биометрическими признаками становятся скомпрометированы. Для систем идентификации, основанных на физических ключах или паролях, идентификаторы, поставленные под угрозу, могут быть легко отменены, и пользователю может быть назначен новый идентификатор. Кроме того, логины, пароли или ключи можно менять так часто, как требуется. В то же время пользователь имеет только ограниченное число биометрических признаков (одно лицо, десять пальцев, два глаза).

Отпечатки пальцев являются отличительной чертой каждого человека и остаются неизменными течение всей жизни, за исключением случаев порезов и ожогов. В качестве первого шага в процессе идентификации получают отпечатки пальцев, как правило, при помощи сканера, считается стандартным оцифрованное изображение отпечатка разрешением 500 точек на дюйм (DPI) с 256 уровнями серого на пиксель. Цифровое изображение отпечатка пальцев включает в себя несколько уникальных характеристик – раздвоения хребтов и их окончания, совместно именуемые как минуции. Следующим шагом является нахождение этих особенностей в изображениях отпечатков пальцев с помощью алгоритма автоматического выделения минуций. Каждая особенность обычно представляется своими координатами ( $x$ ,  $y$ ) и направлением хребта в этом месте ( $\theta$ ). Однако в связи с помехами и неточностями, возникающими как при сканировании, так и на этапе визуализации данных, на этапе выделения особенностей могут быть пропущены некоторые особенности и сгенерированы паразитные минуции. Кроме того, благодаря эластичности кожи человека, расстояния между минуциями могут быть искажены. На заключительном этапе система пытается найти к степени сходства между двумя наборами функций после компенсации вращения, перевода и масштабирования. Это сходство выражается количественно. На основании этой оценки делается окончательное решение о совпадении по пороговому значению. Если оценка ниже порогового значения, то отпечатки пальцев признаются несовпавшими, если оценка выше порога, делается вывод о совпадении. В ряде стран от 12 до 16 соответствий (в исполнении человека-эксперта) считаются юридически обязательным доказательством идентичности.

Для отпечатков пальцев и биометрических данных в общем есть два основных типа ошибок сопоставления, а именно ложноположительное (FAR) и ложноотрицательное срабатывание. Ложноположительное срабатывание возникает при низком пороговом значении, а ложноотрицательное – при высоком пороговом значении. Эти два типа ошибок взаимосвязаны: если стараться снизить вероятность одной из ошибок путем изменения порогового значения, то уровень другой ошибки автоматически увеличивается. Для каждой биометрической системы пороговое

значение необходимо выбирать исходя из нескольких критериев, чтобы уровень достоверности был выше, чем для традиционных систем и при этом работа с такими системами не приносила неудобств пользователям.

Биометрические системы идентификации отличаются от традиционных систем, и имеют ряд особенностей. Во-первых, существует проблема с «нечитаемостью» признака – некоторые люди имеют очень слабые или поврежденные отпечатки пальцев, что делает невозможным их использование в системе. Этим вызвана проблема «отказа» системы, основанная на качестве входного изображения. Отпечатки неудовлетворительного качества не будут приняты системой и во время первой регистрации отпечатка (шаблона), и во время аутентификации. Таким образом, в биометрических системах общая точность зависит от качества данных при регистрации, основных характеристик полученных функций и соответствующего алгоритма.

В целом работу биометрической системы можно рассматривать в рамках системы распознавания образов и разделить на несколько этапов. Первый этап включает в себя получение биометрических данных от пользователя. Сигнал, полученный на данном этапе, обычно значительно отличается от представления, удобного для обработки, следовательно, на втором этапе строится более инвариантное представление. Это представление является основным входным сигналом. Во время регистрации субъекта в биометрической системе инвариантный шаблон хранится в базе данных (например, с точки зрения обработки отпечатков пальцев этот шаблон представляет собой набор функций минутий). Для аутентификации пользователя соответствующий шаблон извлекается из базы данных и сопоставляется с входными данными, количество совпадений определяет решение (с учетом искажения геометрии, изменения освещения, и других переменных, приобретенных сигналом). Итак, определены восемь этапов в общей схеме биометрической системы, они показаны на рис. 1, где может произойти атака на систему.

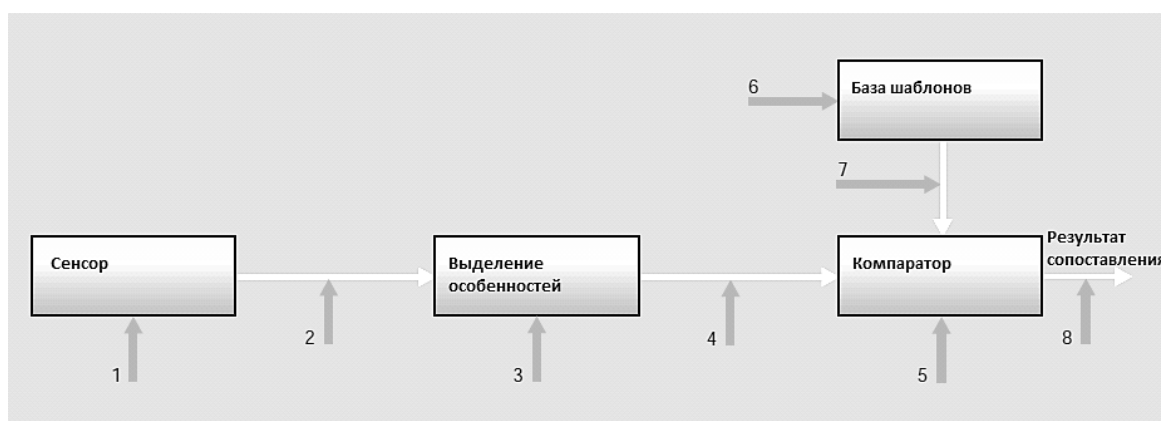


Рис.1. Этапы работы биометрической системы

Существует несколько типов атак на биометрическую систему. Цифры на рис. 1 соответствуют пунктам в следующем списке.

1. Представление поддельных биометрических данных сенсору. Примерами являются муляжи пальцев с отпечатками, маски с дактилоскопическими данными.

2. Повторный ввод ранее сохраненных цифровых биометрических данных. В этом методе атаки записанный сигнал вводится в систему, минуя датчик.

3. Переопределение процесса выделения признаков: функция выделения особенностей подверглась атаке и воспроизводит определенный набор функций.

4. Набор функций особенностей извлекается из входного сигнала и заменяется другим. Часто этапы выделения признаков и поиск совпадений неотделимы друг от



друга, и в таком случае эту атаку провести сложно. Однако, если набор минуций передается на удаленный компаратор (например, через Интернет), эта угроза вполне реальна.

5. Взлом компаратора: компаратор делает ложный вывод о соответствии данных.

6. Неаккуратное хранение шаблонов: база данных хранимых шаблонов может быть локальной или удаленной. Здесь злоумышленник может попытаться изменить один или несколько шаблонов в базе данных. Система аутентификации, хранящая шаблоны на смарт-картах, особенно уязвима для этого типа атаки.

7. Нападение на канал между архивом шаблонов и компаратором: данные, проходящие через этот канал, могут быть перехвачены и модифицированы.

8. Переопределение окончательного решения: если в окончательное решение компаратора может быть отменено хакером, то система аутентификации лишается смысла, даже если основа распознавания имеет превосходные характеристики. [1].

Существует несколько методов противостояния атакам в различных точках уязвимости. Например, измерение проводимости пальца или проверка импульсов на датчике может остановить простые атаки в точке 1. Зашифрованные каналы связи могут устранить, по крайней мере, удаленные атаки в пункте 4. Самый простой способ остановить нападения на пункты 5, 6 и 7 – поместить компаратор и базы данных в безопасном месте. Конечно, даже это не может предотвратить атаки, в которых есть сговор пользователей. Использование криптографии предотвращает атаки на пункт 8.

Угрозы, показанные на рисунке, являются схожими и для традиционных систем идентификации. Единственное различие в том, что «Поддельный пароль» не эквивалентен поддельным биометрическим данным в точке 1.

Таким образом, в биометрической системе самым уязвимым является точка 4. Наиболее вероятна атака полным перебором данных, предполагая, что хакер не имеет информации о хранимых шаблонах. Атака в точке 2 на рисунке включает в себя создание всех возможных отпечатков пальцев изображения, и чтобы соответствовать действительным изображениям отпечатков пальцев, необходимо еще большее пространство для поиска и, следовательно, гораздо труднее.

Для анализа "идеальной" модели атаки, предположим следующее.

- В системе используется метод сравнения, основанный на локальных признаках (минуциях) и количество совпавших минуций отражает степень сходства отпечатков.
- Размер изображения  $S = 300 \times 300$  пикселей.
- Хребет и впадина могут занимать  $T = 15$  пикселей.
- Общее число возможных минуций  $K = \frac{S}{\tau^2} = 400$ .
- Число возможных направлений хребтов (угол ориентации минуций)  $d = 4, 8, 16$ .
- Минимальное количество минуций, которое необходимо для записи шаблона,  $m = 10, 12, 14, 16, 18$ .

Эти положения основаны на стандартах для отпечатков пальцев. Переменные  $d$  и  $m$  используются в качестве параметров для изучения атаки перебором. Начнем с  $m = 10$ , так как часто порог  $m = 12$  используется при неавтоматическом сравнении отпечатков пальцев. Углы поворота гребней в автоматической системе зависят от толерантности компаратора. Минимум четыре уровня толерантности обеспечивает терпимость к повороту  $45^\circ$ , в то время как 16 уровней обеспечивают толерантность к примерно  $11^\circ$ . Тогда число возможных способов размещения минуции в  $K$  возможных

местоположениях  $\binom{K}{m}$ , число возможных способов присвоить направления минуции

$d^m$ , значит, общее число возможных комбинаций минуций  $\binom{K}{m} \times (d^m)$ . Предполагается,

что компаратор будет толерантен к сдвигам между минуциями шаблона и входного отпечатка, толерантен к углу поворота  $45^\circ$  ( $d=4$ ). Для  $d=4$  и  $m=10$  вероятность случайного угадывания точного набора функций будет равна  $3,6 \times 10^{-26} = 2^{-64,5}$ . Вероятность случайного угадывания функции перебором силы при различных значениях  $d$  и  $m$  в логарифмическом масштабе приведена на рис. 2. Имеется в виду мера в битах, т.е. эквивалентное количество битов для традиционной системы. Это говорит о том, что атака перебором в виде случайных изображений в среднем требует очень большого количества попыток. Проведенный анализ предполагает, что каждый отпечаток пальца имеет именно  $m$  сгенерированных минуций и что все они сравниваются.

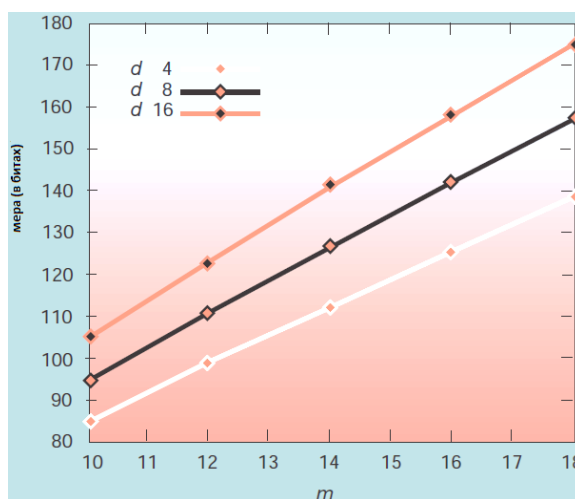


Рис. 2. Эквивалентное количество информации.

Реальная устойчивость к атаке гораздо ниже, потому что можно генерировать больше, чем  $m$  особенностей, допустим  $N_{total}$ , и только некоторая часть из них должна соответствовать  $m$  минуциям шаблона. Это приводит к значениям порядка  $\binom{N_{total}}{m}^2$  или к потере почти 64 бит для  $m=10$  и  $N_{total}=50$ . Таким образом, формируется защита, эквивалентная 20-битному паролю.

Рассмотрим реальную модель, приблизив предположения к реальным данным. Пусть рассматриваемый отпечаток имеет  $N_r$  минуций, и пусть каждое описание минуции включает в себя направление хребта, который принимает  $d$  возможных значений, и местоположение, которое имеет  $K$  возможных значений. Тогда вероятность того, что случайно сгенерированная минуция будет соответствовать одной минуции шаблона отпечатка, может быть представлена следующим образом:

$$P_{est} = \frac{N_r}{Kd}.$$

Более точная модель требует рассмотрения местоположения минуции в зависимости от расстояния до центра отпечатка (он, скорее всего, находится в середине). В этой модели будет использоваться более простая формулировка. В то время как приведенная формула справедлива для первой сгенерированной минуции, при генерации полного набора минуций нежелательно создание двух минуций в одном и том же месте. Таким образом, после генерации  $(j-1)$ -й минуции вероятность того, что  $j$ -я минуция совпадет (при условии, что предыдущая минуция не совпадает с другими) ограничена сверху значением

$$\frac{N_r}{(K-j+1)d}.$$

Таким образом, при генерации  $N_q$  случайных минуций можно полагать, что все минуции имеют соответствующую вероятность:

$$p = p_{hi} = \frac{N_r}{(K-j+1)d},$$

где приняты стандартные значения параметров  $K=400$ ,  $N_q = N_r=50$ ,  $d=4$ . Поскольку атака перебором с чрезмерно большим  $N_q$  (близким к  $K$ ) будет легко обнаружена и отвергнута, то можно определить верхнюю границу  $N_q$ , при которой атакующий может генерировать отпечатки, схожие с реальными. Используя это, находим  $p_{est}=0,03125$  при  $p_h=0,03561$  (на 14% выше). Это сравнительно небольшая разница незначительна сама по себе, но играет важную роль в общем расчете. Таким образом, вероятность получения ровно  $t$  из  $N_q$  созданных минуций равна

$$p_{thresh} = p^t (1-p)^{N_q-t}.$$

Этот вывод неверен для малых  $K$ , так как вероятность соответствия минуций меняется в зависимости от других, уже сгенерированных минуций, а также от того, как много из этих минуций совпадают. Однако для больших значений  $K$  (например,  $K=400$ ), которые типично встречаются, вывод достаточно верен. В настоящее время существует несколько способов выбора  $t$  из  $N_r$  тех минуций из отпечатка, которые соответствуют друг другу. Таким образом, общая вероятность совпадения будет выглядеть так:

$$p_{exact} = \binom{N_\tau}{\tau} p^t (1-p)^{N_q-t},$$

но количество совпадений  $m$  или больше минуций (успешная верификация) обычно рассчитывается по следующей формуле:

$$p_{ver} = \sum_{t=m}^{N_q} \binom{N_\tau}{\tau} p^t (1-p)^{N_q-t}.$$

Для удобства будем считать, что  $N_q = N_r = N$ , и последнее выражение переписется в виде

$$p_{ver} = \sum_{t=m}^N \binom{N}{\tau} p^t (1-p)^{N-t}.$$

Так как  $p$  в данном случае мало, то можно использовать распределение Пуассона:

$$p_{ver} = \sum_{t=m}^N \frac{(Np)^t}{t} \exp(-Np).$$

Это сумма, как правило, определяется первым слагаемым (где  $t=m$ ). Для последующих членов значения слагаемых уменьшаются в десятки раз. Пренебрегая всеми слагаемыми, кроме первого, можно оценить общее значение, оно будет приблизительно на 20% ниже действительного, но для оценки порядка величины этого достаточно.

$$p_{ver} = \frac{(Np)^m}{m!} \exp(-Np).$$

Поскольку  $m$  достаточно велико, используем приближение Стирлинга:

$$p_{ver} = \frac{(Np)^m \exp(-Np)}{\sqrt{(2nm)} e^{-m} m^m}.$$

Перегруппируем параметры для оценки экспоненциальной зависимости:

$$p_{ver} = \frac{\exp(-Np) \left(\frac{aNp}{m}\right)^m}{\sqrt{(2nm)}}.$$

Зависимость  $\log_2$  от  $p_{ver}$  для  $N=40$ ,  $d=4$ ,  $K=400$  с  $m=10-35$  определяет следующие значения: для  $m=10$  получаем 22 бита информации (близко к значению, найденному в идеальной модели); для  $m=15$  получается около 40 бит информации; при  $m=25$  мы имеем приблизительно 82 бит информации в этом представлении, что эквивалентно 16-символьному бессмысленному паролю (например, "m4yus78xpmks3bc9") [3].

Рассматривая окончательное уравнение, необходимо сделать два важных замечания. Во-первых, как в идеальной, так и в более реалистичной модели видно, что добавление информации к каждой минуции (например, повышение  $d$ ) значительно увеличивает стойкость системы. Аналогично, если в пространственной области увеличивается  $K$ , то стойкость тоже увеличивается. Оба эти фактора непосредственно влияют на  $p$  (через экспоненциальный член  $p_{ver}$ ). Во-вторых, существует сильная зависимость от  $N$  – общего количества особенностей отпечатков пальцев. Для высокого уровня безопасности это число должно быть настолько низким, насколько это возможно.

Следует отметить, что вероятность взлома атакой перебором не зависит только от FAR. Как правило, она связана с ошибками выделения признаков (дополнительные или отсутствующие функции) и в меньшей степени – с изменениями геометрии, возникающими при прокатке пальцев или деформации кожи при сканировании. Статистика, регулирующая возникновение этих типов ошибок, отличается от описания атаки перебором.

### Литература

1. Davide M., Dario M., Anil K. Jain, Salil Prabhakar .Handbook of Fingerprint Recognition. 2 edition. – London: Springer, 2010.
2. Джервис А., Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е изд.: Перевод с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 992 с.
3. N.K. Ratha, J.H. Connell, R.M. Bolle. Enhancing security and privacy in biometrics-based authentication systems // IBM systems journal. – 2001. – V. 40. – № 3.

УДК 628 981

## ПРИЕМНИК НА ТЕРМОУПРУГОМ ЭФФЕКТЕ. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Г.Г. Ишанин, Ю.О. Свинина

Статья посвящена приемнику оптического излучения на основе термоупругого эффекта в кристаллическом кварце (ПТЕК). Рассмотрен принцип действия, устройство, даны его основные характеристики, приведена классификация.

**Ключевые слова:** приемник, параметры, характеристики, устройство.

### Введение

Приемник на основе термоупругого эффекта в кристаллическом кварце (ПТЭК) разработан в Санкт-Петербургском институте точной механики и оптики на кафедре оптико-электронных приборов и систем. Механизм появления на кристаллическом кварце электрической разности потенциалов при облучении модулированным или импульсным потоком излучения заключается в термоупругом эффекте. Это впервые было доказано в работе Г.Г. Ишанина, на основе которой было создано (в 1969 г.) фотоприемное устройство (на основе приемника на термоупругом эффекте в

кристаллическом кварце) «Кварц-1» [1]. Разработанные ПТЭК широко используются как образцовые для паспортизации мощных источников излучения и лазеров. Спектральный диапазон их работы – 0,4–20 мкм, динамический диапазон при непрерывном модулированном потоке излучения от 10 мкВт/см<sup>2</sup> до 300 Вт/см<sup>2</sup> (при водяном охлаждении демпфера), постоянная времени –  $10^{-5}$  с. В качестве приемного элемента в ПТЭК используют кристаллический кварц. Он стабилен в работе: не меняет свои свойства с течением времени и не подвержен влиянию электрических и магнитных полей.

### Принцип действия приемника на термоупругом эффекте

На рис. 1 показан чувствительный элемент, который состоит из тонкой (0,1 мм) пластинки 3 кристаллического кварца X-среза, приклеенной к теплопроводящему демпферу 4.

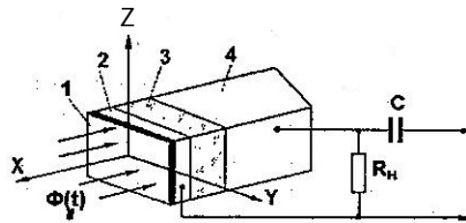


Рис. 1. Устройство приемника на термоупругом эффекте

На переднюю поверхность кварцевой пластинки наносят токопроводящее покрытие 2 и покрытие 1, поглощающее излучение в широком спектральном интервале. С электрической точки зрения подобная система представляет собой конденсатор, в котором диэлектриком является пластинка кристаллического кварца, а обкладками – металлический демпфер и токопроводящее покрытие. Если такая система находится в механическом и тепловом равновесии, то напряжение на этом конденсаторе равно нулю. При облучении приемной площадки 1 импульсным, импульсно-модулированным или другим нестационарным потоком излучения в приемном элементе возникает сложное нестационарное тепловое поле. Процесс преобразования падающего потока излучения  $\Phi(t)$  в энергию теплового поля определяется материалом и структурой поглощающего покрытия 1. От него зависит спектральная характеристика приемника.

Нестационарное во времени и пространстве тепловое поле вызывает в кристаллическом кварце нестационарные механические напряжения, которые приводят к появлению электрической разности потенциалов на электродах 2 и 4. Наличие нескольких последовательных преобразований энергии, безусловно, снижает чувствительность приемника. Но необходимо отметить, что они происходят в кристаллическом кварце – материале, характеризующемся хорошей стабильностью физических свойств в широком динамическом диапазоне. Это обуславливает стабильность и линейность характеристик ПТЭК.

Разность потенциалов на приемнике возникает в основном из-за термоупругих механических напряжений, направленных вдоль оси  $Y$  (рис. 2).

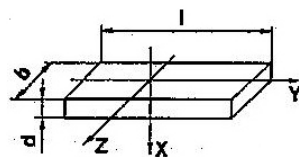


Рис. 2. X, Y, Z – оси кристалла кварца

Механические напряжения вдоль оптической оси  $Z$  разности потенциалов не вызывают из-за особенностей строения кристаллической решетки кварца. На сигнал, возникающий на приемном элементе, влияют и другие явления, которые при определенных условиях могут стать существенными, например, вторичный термоупругий эффект сложной структуры, возникающий тоже вдоль оси  $Y$  из-за разницы коэффициентов линейного расширения токопроводящего покрытия и кварца и из-за разницы коэффициентов линейного расширения кварца и материала демпфера. В реальных условиях этот эффект – второго порядка малости, он скажется на высоких частотах, когда переменная составляющая неравновесного температурного поля сосредоточится в толщине приемного электрода и основной сигнал упадет на несколько порядков. При работе с короткими и мощными импульсами может возникнуть динамический продольный термоупругий эффект вдоль оси  $X$ , из-за радиометрического эффекта, электрострикции и светового давления. Эти эффекты много меньше термоупругого эффекта и их можно не учитывать.

Так как появление разности потенциалов в пьезопластинке зависит от направления действия сил относительно осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  кристалла, необходимо оптимальным образом выбирать ориентацию приемного элемента в соответствии с физическими свойствами кристаллического кварца.

### Процесс возникновения разности потенциалов на поверхности кварца

В первом приближении можно представить атомы кремния и кислорода кварца  $\text{SiO}_2$ , расположенным в шестигранных ячейках. Если для упрощения каждую пару атомов кислорода, расположенную над атомами кремния или под ними, рассматривать как один атом кислорода с четырьмя зарядами, то получим ячейку, показанную на рис. 3, а. Если сжать такую ячейку в направлении полярной оси (рис. 3, б), то атом кремния 1 вклинится между атомами кислорода 2 и 6, атом кислорода 4 – между атомами кремния 3 и 5. Вследствие этого на поверхности  $A$  появится отрицательный, а на поверхности  $B$  – положительный заряды. Это явление называют продольным пьезоэлектрическим эффектом.

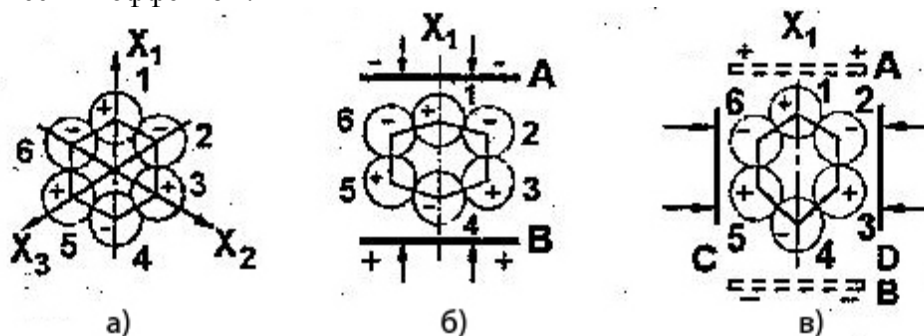


Рис. 3. Ориентация термоупругого элемента относительно осей кварца

Если деформировать ячейку в направлении, перпендикулярном к оси  $X$  (рис. 3, в.), тогда атом кремния 3 и атом кислорода 2, а также атом кремния 5 и атом кислорода 6 сместятся внутрь на одинаковое расстояние, и на электродах  $C$  и  $D$  заряды не появятся, а на поверхностях  $A$  и  $B$ , т.е. на концах полярной оси  $X$ , вновь появятся заряды, однако со знаками, противоположными бывшим ранее, так как атомы кремния 1 и атомы кислорода 4 смещены наружу. В этом случае говорят о поперечном пьезоэффекте.

Из рассмотренной модели видно также, что при замене сжатия растяжением знаки зарядов меняются на обратные и что при механическом воздействии в направлении оси

$Z$ , т.е. перпендикулярно к плоскости рисунка, несимметричное смещение несущих заряды частиц отсутствует вовсе.

### Чувствительность ПТЭК при гармоническом воздействии потока излучения

В рассматриваемом случае предполагают, что на приемник, представляющий собой однородное полупространство, падает синусоидальное-модулированный неограниченный и равномерный поток излучения.

Выражение для электрической разности потенциалов ненагруженного ПТЭК имеет следующий вид [2]:

$$V_{xx}(\omega) = \frac{k_{TV}k_{II}\Phi_a}{hC_0\omega} \cdot A(\omega) \text{ [В]}$$

Интегральная вольтовая чувствительность ПТЭК –  $S_{Va}$  в режиме холостого хода будет равна:

$$S_{Va} = \frac{V_{xx}(\omega)}{\Phi_a} = \frac{k_{TV}k_{II}\Phi_a}{hC_0\omega} \cdot A(\omega), \text{ [В/Вт]},$$

где  $k_{TV}$  – коэффициент термоупругого преобразования,  $k_{II}$  – коэффициент поглощения,  $\Phi_a$  – амплитудное значение потока излучения [Вт],  $C_0$  – емкость ПТЭК,  $h$  – толщина пластинки из кристаллического кварца по оси  $x$  [см],  $\omega$  – круговая частота потока излучения ( $\omega = 2\pi f_m$ ,  $f_m$  – частота модуляции потока излучения)  $A(\omega)$  – коэффициент амплитудных и фазовых искажений.

Коэффициент термоупругого преобразования:

$$k_{TV} = -\frac{4\pi C_{11}\alpha_{11}d_{11}}{C_T\gamma(1-\mu)}$$

где  $C_{11} = 8,605 \times 10^{11}$  [Дин/см<sup>2</sup>] – модуль упругости кристаллического кварца по оси  $X$ ,  $\alpha_{11} = 13,6 \times 10^{-6}$  [1/К] – коэффициент линейного расширения кристаллического кварца перпендикулярно оси  $Z$ ,  $d_{11} = 6,9 \times 10^{-8}$  [ед.заряда СГСЭ/Дин] =  $2,31 \times 10^{-12}$  [Кл/Н] =  $2,31 \times 10^{-17}$  [Кл/Дин], пьезомодуль кварца,  $C_T$  – удельная теплоемкость кристаллического кварца [Дж/(кг К)],  $\gamma$  – плотность [г/см<sup>3</sup>],  $\mu = 0,132$  – коэффициент Пуассона для кристаллического кварца.

### Классификация и спектральные характеристики ПТЭК

ПТЭК можно проклассифицировать по различным признакам. Одним из таких признаков является количество фотоприемных площадок. По этому признаку их можно разделить на одноэлементные и многоэлементные.

Одноэлементные ПТЭК имеют две модификации: непроходные и проходные. У непроходных ПТЭК падающее излучение поглощается в значительной степени фотоприемной площадкой, а отраженная его часть рассеивается в пространство или поглощается специальными поглотителями, не участвуя в технологическом процессе. Непроходные ПТЭК изготавливаются селективными, с шлифованной фотоприемной площадкой, на которую химическим путем наносится поглощающий излучение никелевый электрод (2) (рис. 4, а), и неселективными, когда на токосъемный электрод наносится хромовая, серебряная, золотая или платиновая чернь (1) (рис. 4, б).

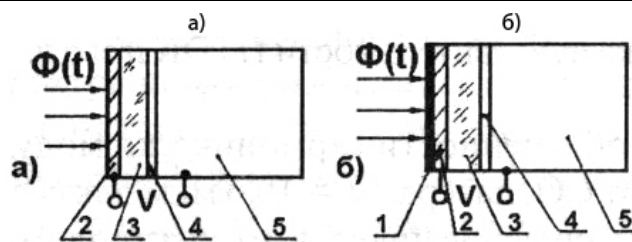


Рис. 4. Модификации одноэлементных ПТЭК: а) селективный с никелевым поглощающим электродом (2) на кварцевом элементе (3), приклеенным к демпферу (5) эпоксидной смолой (1); б) неселективный с чернью (1)

От типа и качества приклейки термоупругого элемента к демпферу зависит зонная характеристика чувствительности ПТЭК и его динамический диапазон работы. Динамический диапазон по облученности гармонически модулированным потоком излучения от  $CO_2$  лазера с  $\lambda = 10,6$  мкм для селективных ПТЭК с поглощающим электродом от 100 мкВт до 100 Вт/см<sup>2</sup> (при охлаждении демпфера водой). Неселективные ПТЭК работают в меньшем динамическом диапазоне по облученности (от 1 мкВт до 0,5 Вт/см<sup>2</sup>).

Селективные ПТЭК с поглощением на втором металлическом электроде представлены на рис. 5, а. Излучение, проходя через прозрачный токосъемный электрод (1), поглощается электродом (3) и самой кварцевой пластинкой. Отраженные составляющие частично возвращаются на поглощающий электрод, отражаясь снова от электрода (1).

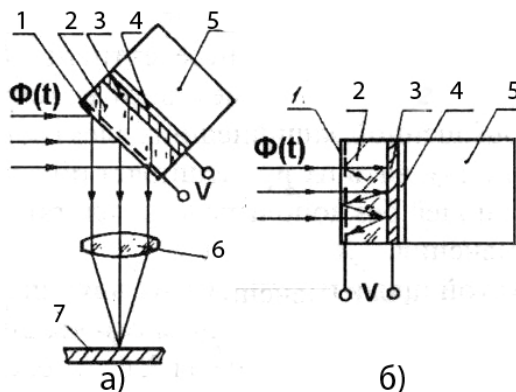


Рис. 5. а) Селективный приемник с поглощением на втором металлическом электроде: 1 – полупрозрачный электрод; 2 – кристаллический кварц; 3 – второй электрод для припаивания к демпферу; 4 – слой припоя; 5 – красномедный демпфер. б) Проходной ПТЭК с отражающим токосъемным элементом – 1; 2 – кристаллический кварц; 3 – второй электрод для припаивания к демпферу; 4 – слой припоя; 5 – красномедный демпфер; 6 – фокусирующая линза; 7 – обрабатываемая деталь (или сетчатка глаза).

Проходные ПТЭК предназначены для контроля параметров лазерного излучения непосредственно во время технологического процесса. Они являются элементом оптической системы проектирования излучения лазера на обрабатываемое изделие (рис. 5, а). У таких ПТЭК токосъемный элемент делается отражающим из алюминия, золота, никеля или платины.

Спектральные характеристики чувствительности ПТЭК приведены на рис. 6.



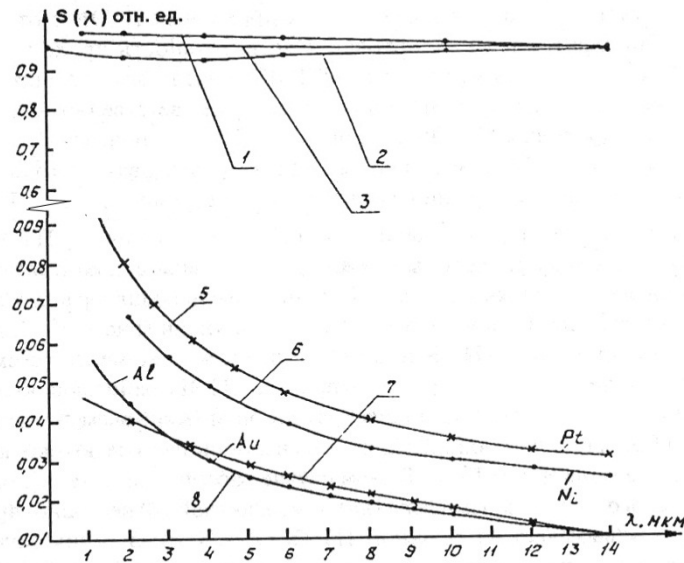


Рис. 6. Относительная спектральная характеристика чувствительности ПТЭК:  
1 – с золотой чернью  $\lambda_{\text{чп}} = 3 \text{ мкм}$  на никелевом токосъемном электроде  $\lambda_{\text{э}} = 2 \text{ мкм}$ ;  
2 – с серебряной чернью  $\lambda_{\text{чп}} = 2 \text{ мкм}$  на никелевом электроде  $\lambda_{\text{э}} = 2 \text{ мкм}$ ; 3 – с хромовой  
чернью  $\lambda_{\text{чп}} = 1 \text{ мкм}$  на никелевом электроде  $\lambda_{\text{э}} = 2 \text{ мкм}$ ; 5, 6, 7, 8 – с отражающими  
электродами из платины никеля, золота и алюминия, нанесенными в вакуумной установке  
на полированные пластинки из кристаллического кварца

Многоэлементные приемники (МПТЭК) разрабатывались для лазерных технологических установок и изготавливаются четырех модификаций: позиционно-чувствительные (двух- и четырехэлементные), линейки, линейные матрицы и составные МПТЭК с большой фотоприемной площадкой.

### Фотоприемные устройства на основе ПТЭК

На рис. 7 показано устройство приемного узла приемника «Кварц-2А» [1].

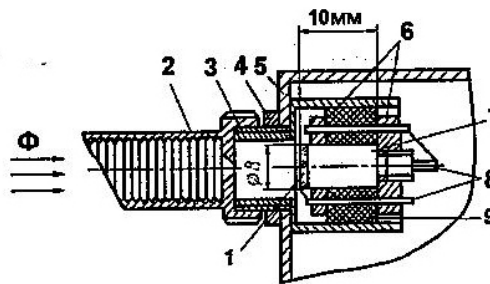


Рис. 7. Устройство приемного узла приемника «Кварц-2А»: 1 – ПТЭК; 2 – бленда; 3 – резьба;  
4 – гайка; 6 – стягивающие пластины; 7 – демпфер; 8 – контакты.

Конструктивно все элементы приемника – приемный узел, широкополосный усилитель, источник питания (батарея «Крона»), сигнальный разъем и выключатель питания – находятся в металлическом корпусе 5 из стали размером  $70 \times 58 \times 20 \text{ мм}$ . Поролоновая прокладка 9 защищает термоупругий элемент 1 от акустических помех. Термоупругий элемент экранируется от электромагнитных помех собственным корпусом 3, блендой 2 и общим корпусом 5. Для приемника разработан специальный усилитель с высоким входным сопротивлением  $R_{\text{вх}} = 20 \text{ МОм}$  и малой входной

емкостью  $C_{вх} = 5 \text{ пФ}$ . Использование в схеме операционного усилителя позволило при высоком входном сопротивлении обеспечить низкий уровень шума ( $V = 15 \text{ мкВ}$  при  $\Delta f = 100 \text{ кГц}$ ).

№ п/п	Наименование прибора	ПТЭК					Приборы на их основе		
		A, h мм	Материал электрода	$\lambda_{\text{раб}}$ или $\Delta\lambda$ , мкм	$S_1$ А/Вт	$\tau_n$ с	Динамический диапазон, Вт, Дж	Стабильность показ., %	Погрешность калибр., %
1	"Кварц-1-Н"	$\varnothing 10$ h=0,1	Ni	10,6	$3 \times 10^{-8}$	$10^{-5}$	$10^{-5}$ -1 Вт	2	5
2	"Кварц-П-Н"	$\varnothing 15$ h=0,1	Ni	10,6	$1 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-5}$	$10^{-4}$ -10 Вт	3	5
3	"Кварц-П-ПА" с отражающим электродом, проходной	$\varnothing 15$ h=0,2	Al	10,6	$1,8 \times 10^{-9}$	$5 \times 10^{-6}$	0,1-100 Вт	3	10
4	"Кварц-1-ПС", проходной	$\varnothing 10$ h=0,1	Ag	10,6	$4 \times 10^{-9}$	$5 \times 10^{-6}$	0,1-20 Вт	2,5	10
5	"Кварц-1-ПА", проходной	$8 \times 10$ h=0,15	Al	10,6	$2,4 \times 10^{-9}$	$2 \times 10^{-6}$	0,1-10 Вт	2	10
6	"Кварц-1-НХ", неселективный	$\varnothing 6$ h=0,1	Ni + хром чернь	0,63+20	$1,9 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-5}$	$10^{-5}$ -0,01 Вт	2	5
7	"Кварц-1-НХ", неселективный, вакуумированный	$\varnothing 6$ h=0,1	Ni + хром чернь	0,63+20	$1,9 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-5}$	$10^{-5}$ -0,02 Вт	2	5
8	"Кварц-2А"	$\varnothing 8$ h=0,15	Ni	10,6	$2 \times 10^{-8}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$ -10 Вт $10^{-6}$ -1 Дж	2	5
9	"ИМИ-100" ПТЭК охлаждаемый водой	$\varnothing 25$	Ni	10,6	$7,5 \times 10^{-9}$	$10^{-3}$	0,1-150 Вт	3	10
10	"Кварц-79"	$\varnothing 10$ h=0,1	Ni + NiO	0,63	$1,8 \times 10^{-7}$	$4 \times 10^{-6}$	$10^{-7}$ -0,1 Дж $10^{-6}$ -5 Вт	2	5
11	"ИМИ-300" ПТЭК охлаждаемый водой	$\varnothing 30$ h=0,35	Ni	10,6	$8 \times 10^{-9}$	$2 \times 10^{-3}$	0,1-300 Вт	3	10

Таблица – Параметры ПТЭК и приемных устройств на их основе

Для согласования высокого входного сопротивления микросхемы (10 кОм) с кабелем использован усилитель мощности. Глубокая обратная связь, охватывающая усилитель, стабилизировала чувствительность ПТЭК при изменении напряжения источника питания от 11В до 7В с погрешностью 5%. В случае недопустимо малого напряжения источника питания свечение светодиода типа АЛ-102А (установленного в корпусе 5) прекращалось. В гнездо Г1 (в корпусе 5) можно вставлять вставки, уменьшающие крутизну преобразования на 20 и 40 дБ. Технические данные приемника следующие: спектральный диапазон 0,4-15 мкм, измеряемая мощность в квазинепрерывном режиме  $10^{-6}$ -10 Вт, в импульсном –  $10^{-6}$ -10 Дж, постоянная времени  $10^{-4}$  с, погрешность калибровки 10%, нестабильность 2%, выходное сопротивление усилителя 100 Ом.

Параметры ПТЭК и приемных устройств на их основе приведены в таблице.

### Литература

1. Ишанин Г.Г., Панков Э.Д., Челибанов В.П. Приемники оптического излучения – СПб: Папирус. 2003.-527 стр.
2. Ишанин Г.Г. «Приемники оптического излучения на основе термоупругого эффекта в кристаллическом кварце». Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Ленинград, 1988. – 512 с.

УДК 536.629.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БАТАРЕЙНЫХ ПРИЕМНИКОВ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОМЕТРИИ

**И.А. Сиваков**

Приведены результаты эксперимента, показывающие возможность применения батарейного приемника теплового потока (датчик Геращенко) в нестационарной теплотметрии с использованием метода параметрической идентификации модели теплопереноса в датчике.

**Ключевые слова:** нестационарная теплотметрия, приемники теплового потока, датчик Геращенко, обратная задача теплопроводности, параметрическая идентификация, фильтр Калмана, дифференциально-разностная модель.

В настоящее время разрабатываются и широко используются для прикладной теплотметрии различного типа приемники тепловых потоков (ППП), которые, как правило, представляют собой автономные достаточно миниатюрные устройства с одномерным теплопереносом.

Во многих практических важных случаях наибольший интерес представляют исследования переходных процессов в изучаемых объектах, когда измерения постоянных или переменных во времени плотностей тепловых потоков выполняются в нестационарных режимах работы ППП. Таким образом, нестационарная теплотметрия является одной из наиболее проблемных задач прикладной теплотметрии при исследовании промышленных объектов и технологических процессов.

В настоящее время при исследовании процессов теплообмена для определения тепловых потоков используются два общих подхода.

Первый, традиционный, заключается в расчете по простым, часто алгебраическим формулам, где основные проблемы заключаются в конструировании различных узлов прибора, чтобы эти формулы можно было применить. В основе метода лежит прямая градуировка приемников теплового потока, в ряде случаев – на специальных стендах, создание которых требует значительных усилий.

Второй подход, интенсивно развивающийся в последние 30–40 лет, составляют методы и принципы решения обратных задач теплопроводности и различные алгоритмы оптимизации. Данный подход заключается в расчетном определении (восстановлении) плотности входящего в ППП теплового потока по измеряемым температурам в отдельных точках ППП. Такие задачи относятся к нестационарным граничным обратным задачам теплопроводности, а в аспекте измерительной техники – к косвенным методам измерений. Этот подход является прямо противоположным первому: при значительной простоте конструкции, приходится обрабатывать большие объемы данных по специальным алгоритмам. С помощью решения ОЗТ можно определять температуры, которые по каким-либо причинам нельзя непосредственно измерить, глубину заделки термопар, начальное распределение температур и многое другое.

В математической физике такие задачи называются некорректно поставленными, что может приводить к неустойчивому решению (решение очень чувствительно к погрешностям измерения температур). Существуют различные методы решения обратных задач. Выбор наиболее универсального, помехозащищенного и вычислительно эффективного метода для определенного класса задач является достаточно сложной проблемой.

В работах Д.Ф. Симбирского, А.В. Олейника, Н.В. Пилипенко, Дж. Бека и др. предложено использовать рекуррентные (последовательные) методы параметрической идентификации, в частности, базирующиеся на модифицированном алгоритме цифрового фильтра Калмана. Изначально разработанные для использования в

измерительных системах реального времени, данные методы доказали свою эффективность при решении ряда граничных задач для различных типов ПТП [1–4].

Для решения таких задач удобно использовать метод параметрической идентификации дифференциально-разностной модели теплопереноса в исследуемом объекте с использованием рекуррентного цифрового фильтра Калмана по искомым параметрам [3, 4].

Оценка возможностей такого подхода показала [3–6], что его применение позволяет получить приемлемые для практики результаты.

Исторически наибольшее распространение и популярность на территории Российской Федерации и СНГ получили малогабаритные градиентные батарейные ПТП, разработанные в начале 70-х годов под руководством О.А. Геращенко и в дальнейшем развиваемые его последователями. Данный вид датчиков серийно выпускается на многих предприятиях и находит широкое применение в прикладной стационарной теплотехнике. Тепломеры Геращенко обладают рядом положительных особенностей, однако в силу своей тепловой инерционности ограничены в части измерения быстроменяющихся тепловых потоков или постоянных тепловых потоков, но в динамических условиях (при ограничениях на время единичного измерения).

В статье предлагается метод восстановления нестационарного теплового на основе параметрической идентификации модели теплопереноса в батарейном ПТП и результаты его экспериментального исследования. Кратко остановимся на способе получения оптимальных оценок теплового потока.

### Параметрическая идентификация процесса теплопереноса

Как известно, динамика тепловых процессов в общем случае описывается одним или несколькими параболическими уравнениями в частных производных с соответствующими граничными условиями (ГУ) и представляется в виде температурного поля в некоторой многосвязной области. Так как температурное поле обычно кусочно-непрерывно (имеет конечное число разрывов), то в каждый момент времени с некоторой погрешностью  $\delta$  оно может быть описано температурами счетного числа точек  $n = n(\delta)$ , зависящего от  $\delta$  (при  $\delta \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$ ) [3]. В этом и заключается смысл дифференциально-разностной аппроксимации.

Для получения оптимальных оценок теплового потока вначале рассматривается прямая задача теплопроводности (ПЗТ), метод решения которой основан на использовании дифференциально-разностных моделей (ДРМ), которые представляют собой системы обыкновенных дифференциальных уравнений (СОДУ) первого порядка относительно вектора температурного состояния  $\mathbf{T}(\tau) = [t_i(\tau)]_{i=1}^n$ , где  $t_i(\tau)$  – температуры элементарных участков – блоков размером  $\Delta$ , отнесенные к их центрам (для граничных блоков – к их торцевым поверхностям). ДРМ позволяет учесть практически все особенности тепловых схем для ПТП различных видов и в общем случае имеет вид [1, 2, 5, 6]:

$$\frac{d}{d\tau} \mathbf{T}(\tau) = F\mathbf{T}(\tau) + G\mathbf{U}(\tau),$$

где  $F$  –  $(n \times n)$ -матрица обратных связей,  $G$  –  $(n \times 2)$ -матрица управления. Вектор управления  $\mathbf{U}(\tau)$ , в частности, для условий 2-го рода на торцах ПТП, имеет вид

$$\mathbf{U}(\tau) = [q_1(\tau) \quad q_2(\tau)]^T.$$

Тепловая схема, подробный вывод и топология ДРМ батарейного ПТП, а также структура матриц управления и обратных связей приведены в работе [7].

В ПТП подлежат измерению либо температуры в отдельных точках, либо их разности, либо среднеобъемные температуры, что отражено в  $(m \times n)$ -матрице измерений  $H$  универсальной модели измерений

$$\mathbf{Y}_k = H\mathbf{T}_k + \boldsymbol{\varepsilon}_k,$$

где  $\mathbf{Y}_k$  –  $(m \times 1)$ -вектор измерений,  $\boldsymbol{\varepsilon}_k$  –  $(m \times 1)$ -вектор случайных погрешностей.

В дальнейшем решается обратная задача (ОЗТ). При этом принимается допущение о том, что известен характер изменения  $q(\tau)$ , который позволяет с требуемой точностью выполнить кусочно-линейную аппроксимацию на всем интервале его изменения  $\overline{0, \tau_N}$ . Искомый тепловой поток задается в виде [3, 5]:

$$q(\tau) = \sum_{j=1}^r q_j \phi_j(\tau),$$

где  $\phi_j(\tau)$  – система базисных функций времени, а  $q_j$  – априори неизвестные коэффициенты, которые объединяются в  $(r \times 1)$ -вектор искомых параметров

$$\mathbf{Q} = [q_1 \quad q_2 \quad \dots \quad q_r]^T.$$

В качестве базисной функции используются В-сплайны 1-го порядка. При этом интервал  $\overline{0, \tau_N}$  разбивается на одинаковые участки сплайн-аппроксимации  $\Delta_z$  ( $z = 1, 2, 3, \dots, r-1$ ); каждый из них включает  $l$  моментов времени измерений  $\mathbf{Y}_k$ , т. е. имеет протяженность  $\Delta_z = l \cdot \Delta\tau$ . Тогда на каждом участке аппроксимация  $q(\tau)$  имеет вид  $q_z = q_{a,z} \cdot Sp_z^{(l)} + q_{b,z} \cdot Sp_{z+1}^{(l)}$ , где  $q_{a,z}$  и  $q_{b,z}$  – значения  $q$  на левой и правой границах участка соответственно;  $Sp_z^{(l)}$  и  $Sp_{z+1}^{(l)}$  ( $z = 1, 2, 3, \dots, r-1$ ) – В-сплайны.

Величины  $q_{a,z}$  и  $q_{b,z}$  на каждом  $z$ -ом участке объединяются в  $(2 \times 1)$ -вектор искомых параметров  $\mathbf{Q}_z = [q_{az} \quad q_{bz}]^T$ . Благодаря сквозной В-сплайн аппроксимации на всем интервале измерения  $\overline{0, \tau_N}$  на границах выполняются равенства  $q_{a,z+1} = q_{b,z}$ ;  $q_{a,z+2} = q_{b,z+1}$ ; ... По мере поступления измерений  $\mathbf{Y}_k$  вычисления перемещаются от участка  $z=1$  к участку  $z=2$  и т. д., тем самым последовательно восстанавливается весь набор искомых значений теплового потока  $q_1, q_2, \dots, q_r$ .

Такую аппроксимацию  $q(\tau)$  называют параметризацией ОЗТ. Тогда задача восстановления  $q(\tau)$  сводится к параметрической идентификации ДРМ теплопереноса в ПТП – последовательному получению оптимальных оценок  $\hat{\mathbf{Q}}_{z,l}$  вектора искомых параметров  $\mathbf{Q}_z$  на каждом участке  $\Delta_z$  путем минимизации по  $\mathbf{Q}_z$  квадратичной функции невязки:

$$\Phi(\mathbf{Q}_z) = \sum_{k=1}^l (\mathbf{Y}_k - \hat{\mathbf{Y}}_k(\mathbf{Q}_z))^T \cdot R^{-1} \cdot (\mathbf{Y}_k - \hat{\mathbf{Y}}_k(\mathbf{Q}_z)),$$

где  $\hat{\mathbf{Y}}_k(\mathbf{Q}_z)$  – аналог вектора измерений  $\mathbf{Y}_k$ , рассчитываемый по ДРМ теплопереноса в ПТП для различных значений искомых параметров  $\mathbf{Q}_z$ , который будем называть

модельным вектором измерений;  $R$  – ковариационная  $(m \times m)$ -матрица вектора  $\epsilon_k$  случайных погрешностей в измерениях температур ПТП.

С учетом требований к теплотрическим измерительным системам реального времени при выборе алгоритма минимизации функции невязки  $\Phi(Q_z)$  предпочтение отдано рекуррентным алгоритмам, в частности, алгоритмам цифрового фильтра Калмана (ФК) [3, 4]. Они отличаются высокой вычислительной эффективностью и изначально предназначены для работы в измерительно-вычислительных системах реального времени. Для получения оптимальных оценок  $Q_{k+1}$  вектора  $Q$  в  $(k+1)$ -й момент времени ФК по искомым параметрам имеет вид [2, 4 – 6]:

$$Q_{k+1} = \hat{Q}_k + K_{k+1}[Y_{k+1} - \hat{Y}_{k+1}(\hat{Q}_k)],$$

$$K_{k+1} = P_k H_k^T (H_k P_k H_k^T + R)^{-1},$$

$$P_{k+1} = P_k - K_{k+1} H_k P_k,$$

где  $P_k, P_{k+1}$  – ковариационные матрицы ошибок оценок параметров для моментов времени  $\tau_k = k \cdot \Delta\tau$  и  $\tau_{k+1} = (k+1) \Delta\tau$ ;  $H_k$  – матрица коэффициентов чувствительности измеряемой температуры ПТП к изменению искомым параметров в момент времени  $\tau_{k+1}$ ;  $K_k$  – весовая матрица.

Толщина $\delta \cdot 10^3, \text{ м}$	Теплопроводность $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	Температуропроводность $a \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$
$\delta_1 = 0,1$	$\lambda_1 = 0,2$	$a_1 = 0,11$
$\delta_2 = 1,3$	$\lambda_2 = 0,7$	$a_2 = 0,22$
$\delta_3 = 0,1$	$\lambda_3 = 0,2$	$a_3 = 0,11$

Таблица 1. Основные характеристики батарейного ПТП

В качестве иллюстрации возможностей предлагаемого метода на рис. 2 представлены результаты имитационного моделирования восстановления теплового потока для батарейного ПТП при различных внешних воздействиях. Параметры датчика приведены в табл. 1.

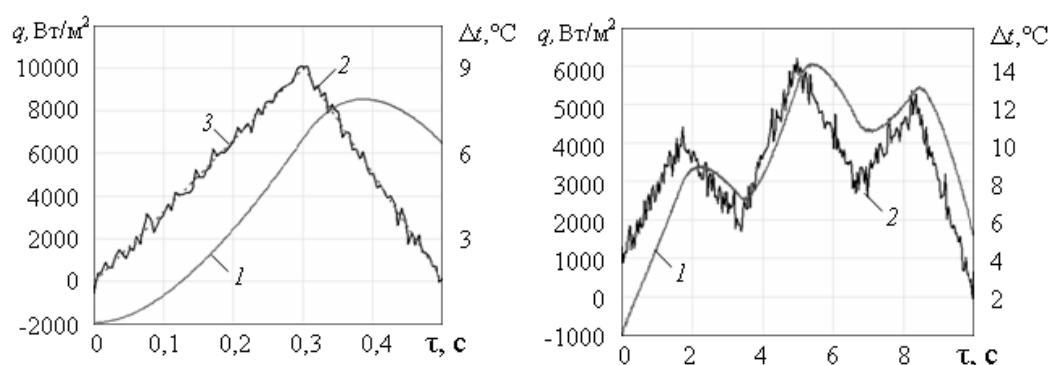


Рис. 1. Результаты имитационного моделирования восстановления теплового потока для батарейного ПТП: 1 — измеренная разность температуры; 2 — восстановленный тепловой поток; 3 — истинный тепловой поток.

Как видно из полученных результатов имитационного моделирования предложенный метод восстановления теплового потока путем параметрической идентификации позволяет с высокой точностью восстанавливать нестационарный тепловой поток с использованием батарейных ПТП.

### Экспериментальная проверка

Для дальнейшей проверки возможности применения батарейных ПТП в нестационарной теплотерии проведена серия экспериментов на установке для задания нестационарного теплового потока и определения динамических характеристик ПТП.

В качестве источника теплового потока используется галогенная лампа типа КГЛ-100-12V с оптической системой в виде эллиптического отражателя. Использование эллиптического отражателя позволяет собрать во втором его фокусе значительно большую часть излучаемой лампой мощности по сравнению с линзовыми конденсорами. Между оптической системой и испытуемым датчиком располагается диск модулятора, который служит для задания нестационарных тепловых потоков различной частоты. Сигнал ПТП регистрируется с помощью компьютерного цифрового осциллографа фирмы Velleman типа PCS500.

Величина теплового потока, излучаемого лампой, определена экспериментально и составляет  $q_0 = 6 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ . Так как форма модуляции близка к синусоидальному виду, можно считать, что при включенном модуляторе действующий тепловой поток определяется соотношением  $q(\tau) = 0.5q_0(1 + \sin \omega\tau)$ , где  $q_0$  – среднее значение теплового потока,  $\omega$  – частота изменения потока,  $\tau$  – время.

Используемый в опыте датчик, имеющий постоянную времени  $\approx 5 \text{ с}$ , подвергался воздействию модулированного лучистого потока при различных частотах модуляции. Между экспериментами делалась пауза, достаточная для остывания датчика и конструктивных элементов установки. Полученные экспериментальные результаты сохранялись на компьютере, после чего производилась их обработка в разработанном на кафедре КТФиЭМ программном комплексе «Heat Flow» в два этапа:

- фильтрация и сглаживание зашумленного входного сигнала;
- восстановление плотности теплового потока по результатам термометрии.

Современное вычислительное оборудование позволяет проводить обе эти операции в реальном времени. На рис. 2 приведены результаты эксперимента по восстановлению плотности теплового потока, изменяющегося с частотой 2 Гц. Границы применимости предложенного метода для данного датчика (постоянная времени 5 с) – нестационарные тепловые потоки с частотой до 2–2,5 Гц.

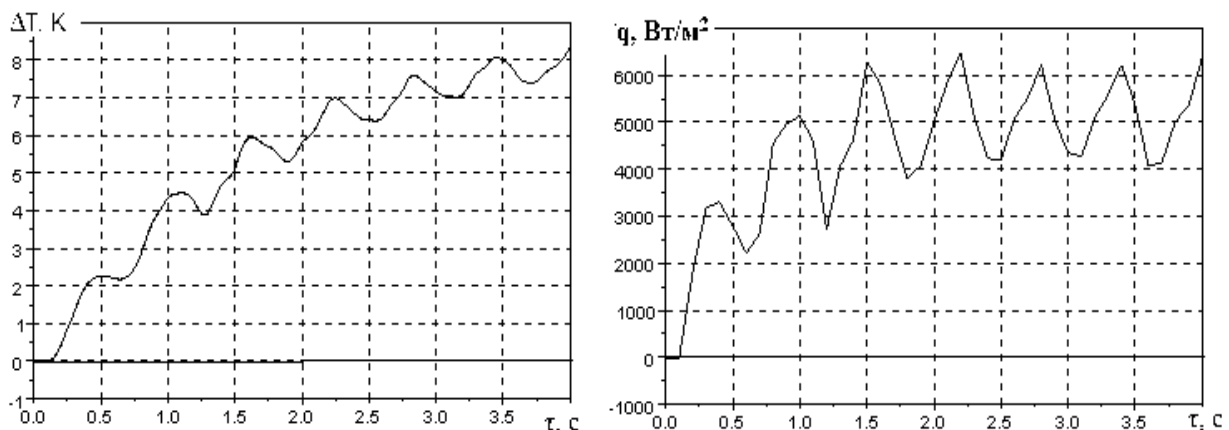


Рис. 2. Результат восстановления плотности теплового потока методом параметрической идентификации по результатам экспериментальной термометрии (после предварительной фильтрации) с использованием батарейного ПТП при воздействии нестационарного теплового потока с частотой 2 Гц

### Заключение

Представлен и обоснован метод решения граничной обратной задачи теплопроводности по восстановлению плотности теплового потока по изменению перепада температур по толщине батарейного ПТП. Для решения задачи использован метод параметрической идентификации дифференциально-разностной модели теплопереноса в ПТП.

В качестве иллюстрации возможностей предложенного метода приведены результаты имитационного моделирования по восстановлению плотности теплового потока при различных видах воздействия с использованием модели батарейного ПТП.

Проведены экспериментальные исследования батарейного датчика, которые показали возможность его использования для целей нестационарной теплотометрии и позволили установить границы применимости предложенного метода. Для исследованного батарейного датчика с постоянной времени 5 секунд максимальная частота изменения плотности теплового потока составляет 2–2,5 Гц. При увеличении частоты изменения плотности теплового потока скомпенсировать высокую инерционность рассматриваемого датчика расчетными методами не представляется возможным. Полученные результаты показывают, что использование метода параметрической идентификации при восстановлении плотности теплового потока позволяет существенно расширить возможности некоторых видов датчиков, в том числе дает возможность использования стационарных датчиков для целей нестационарной теплотометрии.

### Литература

1. Пилипенко Н. В. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплотометрии. Часть 1 // Известия ВУЗов. Приборостроение, 2003, № 8, Т. 46. – С. 50 – 54.
2. Пилипенко Н. В. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплотометрии. Часть 2 // Известия ВУЗов. Приборостроение, 2003, № 10, Т. 46. – С. 67 – 71.
3. Пилипенко Н. В. Нестационарная теплотометрия на основе параметрической идентификации дифференциально-разностных моделей теплопереноса в одномерных приемниках. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук // СПб, 2008
4. Кириллов К. В., Пилипенко Н. В. Алгоритмы программ для решения прямых и обратных задач теплопроводности при использовании дифференциально-разностных моделей // Научно-технический вестник ИТМО, 2010, № 5. – С. 106 – 110.
5. Пилипенко Н. В., Сиваков И. А. Метод определения нестационарного теплового потока и теплопроводности путем параметрической идентификации // Измерительная техника, 2011, № 3. – С. 48 – 51.
6. Pilipenko N. V., Sivakov I. A. A method of determining nonstationary heat flux and heat conduction using parametric identification // Measurement Techniques, 2011 – Vol. 54, № 3. – pp. 318 – 323
7. Пилипенко Н. В., Лазуренко Н. В., Лебедев П. В. Параметрическая идентификация нестационарных тепловых потоков с помощью тепломера типа «вспомогательная стенка» // Известия ВУЗов. Приборостроение, 2005, № 9, Т. 48. – С. 47 – 51



УДК 004.382.75

**ПРИМЕНЕНИЕ ANDROID-УСТРОЙСТВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ  
ПРОЦЕССЕ: ПОРТАТИВНАЯ ЦИФРОВАЯ ЛАБОРАТОРИЯ****А.А. Скшидлевский, Д.О. Тихонов**

В статье рассмотрена возможность использования мобильных платформ в образовательном процессе, рассказано о системе Android и особенностях взаимодействия данной системы с внешними устройствами.

**Ключевые слова:** планшетный компьютер, портативная цифровая лаборатория, цифровой микроскоп, Android, Java

**Введение**

Как известно, при прохождении обучения по ряду дисциплин требуется применять реальные лабораторные установки для проведения практических экспериментов. Обычно это оборудование достаточно старое и не предусматривает никакого взаимодействия с компьютерами. Однако новое поколение оборудования просто обязано будет поддерживать соединение с компьютером, иначе у него просто не будет шансов выйти на рынок. Учитывая это, можно уже сейчас внедрять такое оборудование в образовательный процесс, а также развивать направление интеграции подобного портативного оборудования с мобильными компьютерами.

Если превратить привычные стационарные лабораторные установки в портативные устройства, которые могут работать в общем информационном пространстве учебного заведения, то открываются широкие возможности интеграции информационных технологий с лабораторными стендами. С появлением планшетных компьютеров с сенсорными экранами резко повысилась рентабельность таких систем. Таким образом, соединив цифровую лабораторную установку с планшетным компьютером, можно получить полноценную портативную цифровую лабораторию, при условии портативности самой лабораторной установки. Помимо мобильности, этот подход дает доступ ко всем мультимедийным и коммуникационным возможностям планшетного компьютера.

**Выбор программной платформы**

Первым шагом к созданию такой системы является выбор программной платформы, под которой будет работать планшетный компьютер. Наиболее простым решением кажется выбор планшета с традиционной десктопной операционной системой (ОС). Однако это влечет за собой ряд недостатков. Для работы десктопной версии ОС требуется достаточно мощный компьютер. Это повышает стоимость устройства и негативно сказывается на его размерах и весе. В случае с ОС от Microsoft требуется дополнительная покупка лицензии. Учитывая то, что требования к возможностям операционной системы невысоки, можно рассмотреть мобильные операционные системы. Важным требованием, которое должно удовлетворять такая ОС, является возможность разработки под нее драйверов. Проанализировав рынок планшетов, можно сказать, что наиболее распространены планшеты под iOS, Windows и Android. Однако только Android является открытой системой, что дает возможность вести разработку на самом низком уровне. Учитывая также интенсивность развития платформы, рост ее популярности и ряд других факторов, можно сделать вывод, что планшетные компьютеры под управлением ОС Android являются наилучшим выбором.

**Архитектура Android**

Android – это программный стек для мобильных устройств, который включает операционную систему, программное обеспечение промежуточного слоя и основные

пользовательские приложения (почтовый клиент, календарь, карты, веб-браузер, контакты и другие) [1].

Архитектура Android (рис. 1) построена на основе ядра Linux. Оно отвечает за такие системные службы, как управление безопасностью, памятью, процессами, включает сетевой стек и модель драйверов. Кроме того, это ядро также играет роль абстрактного слоя между аппаратным уровнем и остальной частью программного стека.

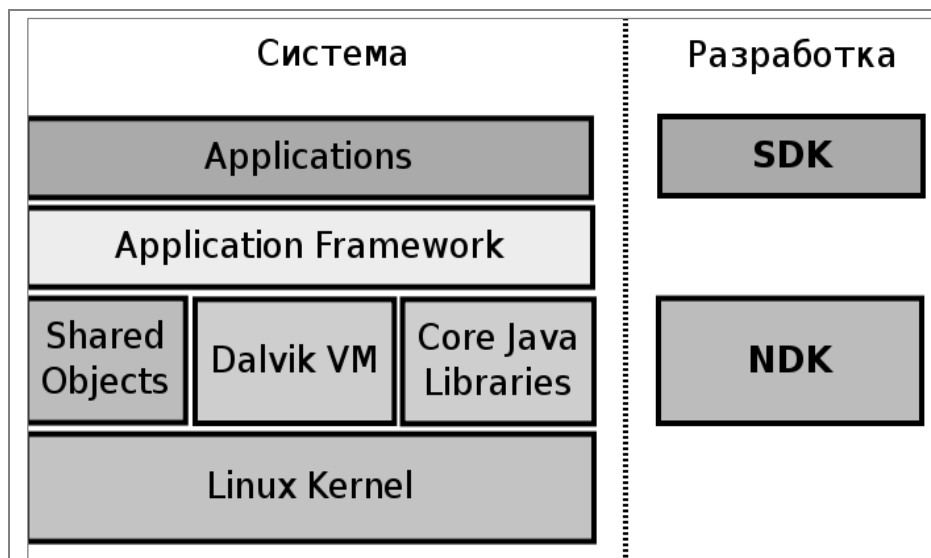


Рис. 1. Уровни архитектуры Android

Следующий уровень программного стека – библиотеки, написанные на C/C++ (Shared Objects). В медиабиблиотеках заложена поддержка основных форматов и кодеков, включая MPEG4, H.264, MP3, WMA, WAV, AAC, AMR, JPG, PNG. Графические библиотеки поддерживают API OpenGL ES 1.0 и обеспечивают поддержку аппаратных 3D-ускорителей. В одном приложении можно одновременно использовать двух- и трехмерную графику. Движок веб-браузера Android базируется на библиотеке LibWebCore (WebKit), которая также используется в популярном веб-браузере Safari от Apple.

Одной из важнейших частей стека является виртуальная java-машины Dalvik и набор java-библиотек (Core Java Libraries). Dalvik позволяет поддерживать одновременную работу нескольких приложений и выполняет файлы в специальном формате .dex, оптимизированном для устройств с малым количеством памяти. Библиотеки ядра написаны на языке Java и включают большой набор классов, которые поддерживают широкий диапазон функциональных возможностей.

Следующий уровень стека – каркас приложений (Application Framework). Этот уровень представляет собой инструментарий, которым пользуются все приложения. Здесь стоит выделить такой компонент, как провайдеры данных (Content Providers), который является уникальной особенностью Android. Провайдеры данных позволяют объединять информацию из разных приложений, чтобы реализовать новые функции. Кроме того, данные могут совместно использоваться разными приложениями.

Наконец, самый верхний уровень – уровень приложений (Applications). Android не делает различия между основными (системными) приложениями и сторонним программным обеспечением – таким образом, ключевые компоненты, такие как контакты, рабочий стол или почтовый клиент, можно заменить альтернативными аналогами. Приложения для Android пишутся на языке Java.

### Разработка приложения

В качестве примера реализации подхода к разработке программного обеспечения для организации взаимодействия цифровой лабораторной установки и планшетного компьютера под управлением ОС Android, рассмотрим планшетный компьютер enTourage eDGe и цифровой микроскоп Эксперт производства ООО «ЛОМО».

Цифровой микроскоп подключается к планшетному компьютеру по последовательному интерфейсу USB. Взаимодействие с цифровым микроскопом начинается с написания или портирования существующего драйвера для ядра Linux. Драйверы должны быть скомпилированы под версию ядра и архитектуру процессора, используемые на планшете. Драйверы можно собрать, используя инструментальный Android NDK (Native Development Kit). Примечательно то, что работу драйвера можно отлаживать на x86 компьютере под управлением ОС GNU/Linux. Чтобы подключить новый драйвер к существующему ядру, необходимы права суперпользователя. Однако при наличии оригинальных исходных кодов ядра можно произвести полную его пересборку и обновить ядро целиком штатными средствами. Если драйвер является модулем ядра, то он должен быть дополнительно загружен. После загрузки драйвера становится доступно устройство в пространстве пользователя, с которым уже может работать Android-приложение. Стоит заметить, что приложение не может работать напрямую с устройствами. Поэтому для взаимодействия с устройством используется библиотека, которая разрабатывается на NDK. Эта библиотека экспортирует функции, которые используются Android-приложением для управления внешним устройством. На рис. 2 изображены уровни абстракции взаимодействия Android-приложения с цифровым микроскопом. Приложение написано на языке Java с использованием инструментального Android SDK (Software Development Kit), библиотека написана на языке C с использованием инструментального NDK, драйвер был портирован из ядра Linux и является отдельным подгружаемым модулем.

Как было сказано ранее, в разработке Android-приложений используется язык Java, но помимо этого необходимо тесно взаимодействовать со многими элементами каркаса приложений, работа с которыми возможна с помощью Android SDK.

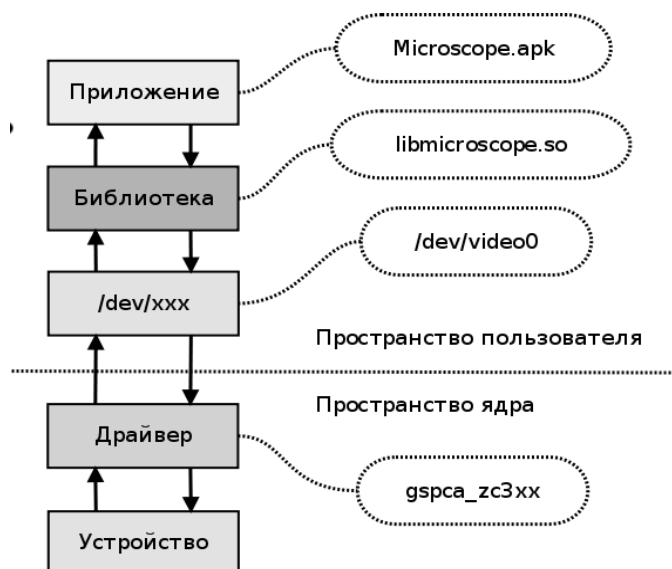


Рис. 2. Уровни абстракции взаимодействия Android-приложения с цифровым микроскопом

Android-приложение состоит из комбинации четырех блоков:

- Activity представляет собой визуальный интерфейс (экран) для действий, которое пользователь может совершить.

- Broadcast Receiver – отвечает за оповещение системы и приложений о каких-либо событиях и отслеживание их реакции на действия.
- Service – код длительного выполнения, который выполняется без участия пользовательского интерфейса.
- Content Provider – данный компонент управляет наборами данных, которые приложения предоставляют другим.

В разработанном приложении (рис. 3) используются два блока – Activity, в котором содержатся элементы интерфейса и исполняемый код, и Broadcast Receiver, который связывает приложение с устройством.

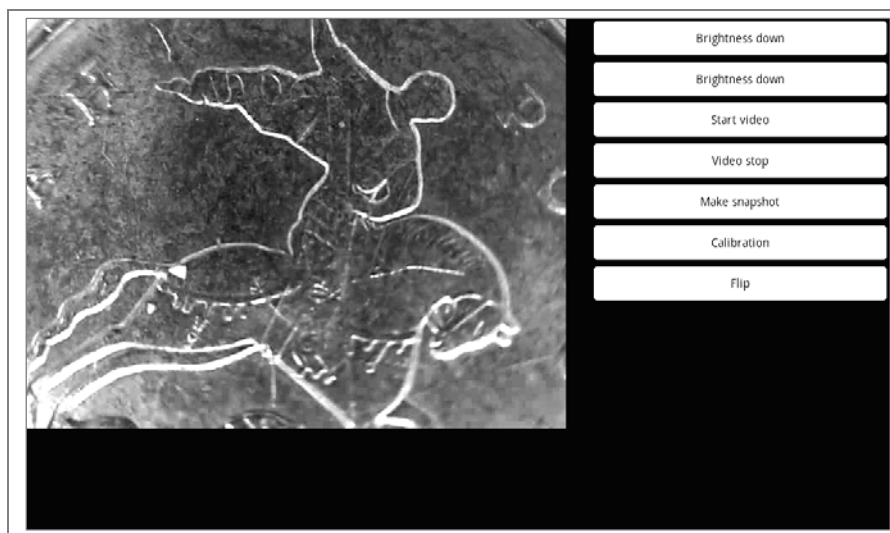


Рис. 3. Рабочий экран приложения «Микроскоп»

Однако с расширением функционала, например внедрения возможности снятия потокового видео, появится необходимость в использовании Service'ов, чтобы поток мог вести запись в фоне.

### Особенности разработки под Android

Разработка под Android несколько специфична, и у нее есть свои особенности, о которых стоило бы упомянуть.

- AndroidManifest.xml – файл, без которого не может обойтись ни одно приложение под Android. Файл манифеста инкапсулирует всю архитектуру Android-приложения, его функциональные возможности и конфигурацию.
- Разработка интерфейса приложения под Android во многом напоминает разработку Swing-приложения, так как у многих компонентов интерфейса Android есть аналоги в Swing [1, 2].
- Различие инструментов для организации многопоточности: если в Java для работы с потоками в основном используется наследование класса Thread, реализация интерфейса Runnable, и использование synchronize(), то в Android верно все то же самое. Однако, во многом благодаря специфике платформ, на которых эксплуатируется система, и задач, для которых требуется использование потоков, разработчики Android написали целый класс, упрощающий изоляцию асинхронных задач и работу с ними [2].

Также, хотелось бы обратить внимание на подводные камни аппаратных систем, в которых используется Android. Как правило, это мобильные телефоны и интернет-планшеты. Такие устройства, в первую очередь, характеризуются жестко ограниченным количеством ресурсов, которые доступны разработчику [3]. В частности,

это мощность процессора и объем оперативной памяти. Во-вторых, достаточно большое количество аппаратных конфигураций и множество прошивок, которые выпускают производители устройств, ставит перед необходимостью тестировать приложение на максимальном их количестве, что, естественно, невозможно, так как один только список актуальных центральных процессоров содержит около дюжины наименований, а десятки прошивок поставляется не только самим производителями устройств, но даже операторами связи; к тому же они достаточно часто меняются. В-третьих, благодаря вечному поиску «золотой середины» в форм-факторе устройства и их относительно малом размере, разработчик вынужден адаптировать свое приложение под несколько малых, иногда нестандартных, разрешений экрана. Все эти пункты необходимо учитывать на этапе проектирования.

### **Заключение**

В ходе работы была проанализирована возможность использования портативных цифровых устройств в образовательном процессе на примере работы планшетного компьютера и цифрового микроскопа, обоснована актуальность проблемы и выбор программной платформы, кратко рассказано об архитектуре Android и особенностях взаимодействия системы с внешними устройствами.

### **Литература**

1. Голощапов А.Л. Google Android: программирование для мобильных устройств – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 448 с.
2. Хорстманн К., Корнелл Г. Java 2. Библиотека профессионала. Том 1. Основы – СПб.: Вильямс, 2010. - 816 с.
3. James S., Nelson T. The Android Developer's Cookbook: Building Applications with the Android SDK: Building Applications with the Android SDK (Developer's Library) – Boston: Addison-Wesley Professional, 2010. – 400 с.

### **УДК 681.7**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛУЧЕННОСТИ ВИНЬЕТИРОВАННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В АВТОКОЛЛИМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

**А.А. Смехов, И.А. Коняхин**

Построена и рассмотрена компьютерная модель на базе математического пакета автоколлимационной системы, включающей источник излучения, контрольный элемент и срезающие апертуры. В модель внесена предельная вариативность составляющих системы, включающая введение неограниченного числа срезающих апертур любой геометрической формы, а также функций пропускания, источника излучения, форма которого и распределение освещенности также может быть задано любым способом. Данная модель применяется для первичной обработки и исследования эффектов виньетирования в автоколлимационных системах.

**Ключевые слова:** погрешность виньетирования, автоколлимация, компенсационный алгоритм, компьютерное моделирование.

### **Введение**

В процессе монтажа, работы, наблюдения за крупногабаритными объектами часто требуется контроль их прогибов и деформаций, вызванных различными факторами, к которым можно отнести как внешние погонные условия (действие ветров, деформация под силой собственного веса), так и иные условия техногенного характера, наблюдение

за которыми и является основным назначением производимых действий. Так или иначе, контроль над положением и малыми изменениями положения объекта или его отдельных частей является широко распространенной задачей.



Рис. 1. Пример вынужденного контроля деформаций в производстве

Для определения угловых деформаций широко используются оптико-электронные углоизмерительные автоколлиматоры. При практических измерениях на жесткой базе устанавливается автоколлиматор, а на перемещаемом объекте – контрольный элемент в виде плоского зеркала (рисунок 1). Автоколлиматор непосредственно измеряет угловое положение пучка лучей, отраженного от контрольного элемента. При наличии угловых деформаций конструкции контрольный элемент изменяет свое угловое положение, что приводит к отклонению отраженного пучка лучей, фиксируемого автоколлиматором. Принципиальной особенностью автоколлимационного метода измерения является наличие виньетирования (срезания) отраженного пучка на входной апертуре объектива автоколлиматора. Влияние виньетирования проявляется во всем диапазоне измерений (кроме нулевого положения), носит регулярный характер и, следовательно, может быть описано теоретически и затем скомпенсировано на этапе измерений [1]. Методы устранения влияния виньетирования не ограничиваются теоретической компенсацией систематической составляющей погрешности и коррекцией уже полученных результатов измерения и могут быть дополнены специальной коррекцией алгоритма измерения. Такое сочетание теоретической и алгоритмической компенсации является наиболее приемлемым способом увеличения точности измерения по критериям стоимости, надежности, простоты и эффективности.

Изучение влияния виньетирования на систематическую составляющую погрешности, выяснение наиболее оптимальных методов компенсации погрешности виньетирования для обеспечения быстроты и интерактивности процесса измерения, техническая реализация подобных методов: являются актуальной задачей [2]. Для построения теоретической базы компенсационных алгоритмов и наработки массива данных о корректировке значений, снимаемых с чувствительного элемента приемной части автоколлиматора, и требуется адекватная варьируемая компьютерная модель. Помимо этого, вариативность модели обеспечивает дальнейшую проработку и теоретическое изучение

Цель работы – построить компьютерную модель явления виньетирования пучка в автоколлимационной системе со свободно изменяемыми параметрами, оценить ее

быстродействие и пригодность к исследованию распределения освещенности в виньетируемом пучке, проанализировать возможность построения алгоритма компенсации погрешности измерения вследствие виньетирования.

### Основные положения

Построение модели производилось в среде MatLab, продемонстрировавшей существенно большую скорость обработки данных и обчета результатов по сравнению с пакетом MathCad [3], в особенности проявившуюся при работе с многомерными массивами данных, за счет векторизации программного кода, оценки и предварительного выделения памяти под обработку многомерных массивов и иной специализации функций [4].

Поскольку в автоколлимационной схеме источник излучения находится в фокальной плоскости излучающего объектива, в пространстве изображений этого объектива образуется *сноп* коллимированных пучков, каждый из которых порождается светящейся точкой источника излучения и имеет диаметр, форму и функцию пропускания вообще соответствующие параметрам выходного зрачка объектива (рис. 2). В свою очередь, распределение таких коллимированных пучков по углам (т.е. направлениям в обеих координатах) определяется функцией распределения освещенности источника излучения (т.е. распределением излучения каждой точки светящейся марки), и фокальным отрезком объектива.

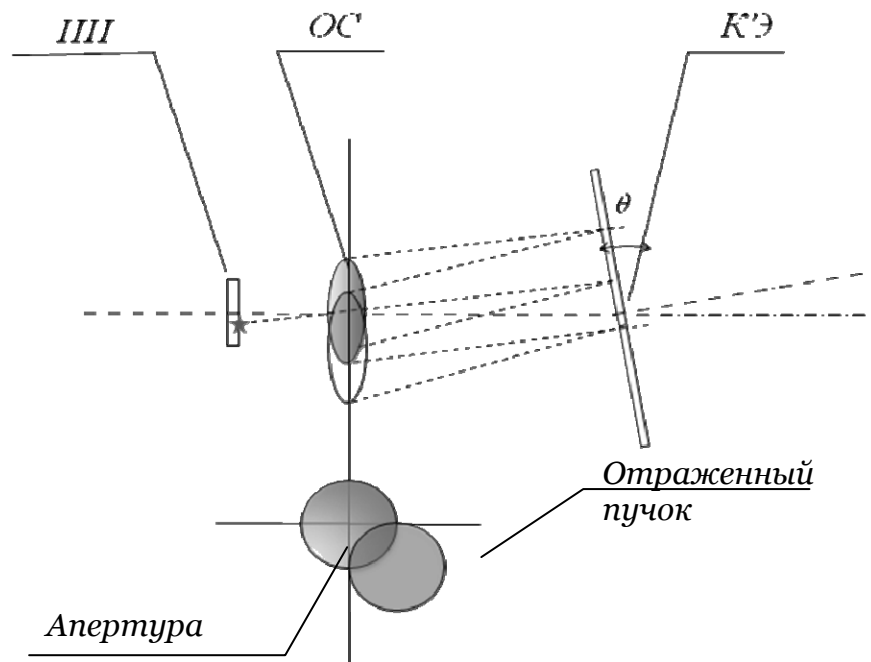


Рис. 2. Автоколлимационная схема и виньетирование пучка

На данном этапе можно ввести двухуровневую абстрактную модель поля облученности: поле описывается энергетической характеристикой в каждой своей точке, которой помимо этого присущи координаты  $(x,y)$  и направление  $(\square_x, \square_y)$ . Помимо этого, каждая точка имеет две внутренние степени свободы, раскрывающиеся в подпространство  $(\square)$  каждого коллимированного пучка около точки с координатами  $(x,y)$  (рисунок 3). Подобная инкапсуляция порождается независимостью излучающих точек марки между собой, и как следствие, пучков от каждой точки, сформированных объективом автоколлимационной системы.

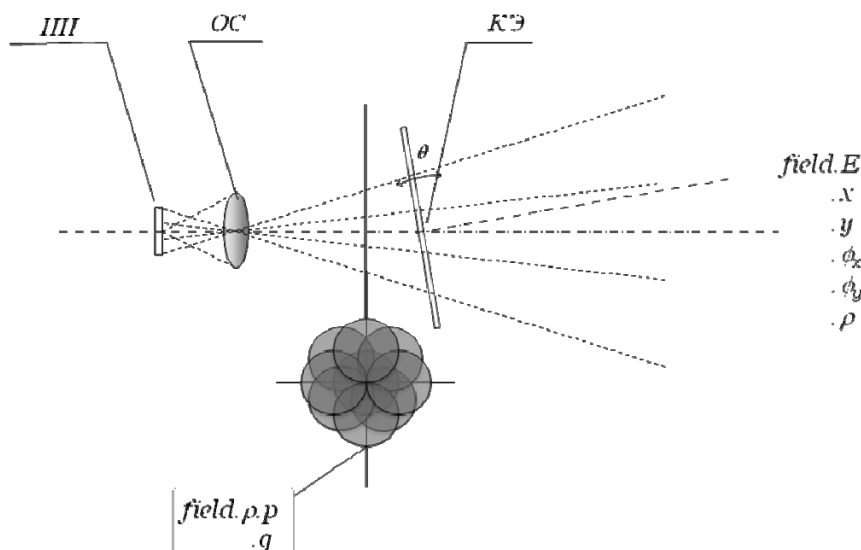


Рис. 3. Пространство лучей и их раскрытие в коллимированные пучки

Элементы автоколлимационной схемы были описаны модульно как операторы изменяющие поле: оператор свободного пространства, зеркала, оператор апертуры и наконец оператор объектива, сворачивающий внутренне двумерное пространство каждого сноа в точку – т.е. фокусирующий. Эти операторы изменяют свойства как поля в целом, т.е. поле координат и направлений – лучей, так и внутреннего подпространства коллимированного пучка ( $\square$ ) как единого целого, в чем и проявляется векторизация кода и увеличение его быстродействия.

Срезание (виньетирование) пучка, а точнее каждого коллимированного из множества пучков происходит простым поэлементным умножением структур, описывающих поле и транспарент (диафрагму).

Дальнейшее сложение энергии каждого коллимированного пучка может быть интерпретировано как освещенность, создаваемая фокусирующим объективом автоколлиматора, каждой точки.

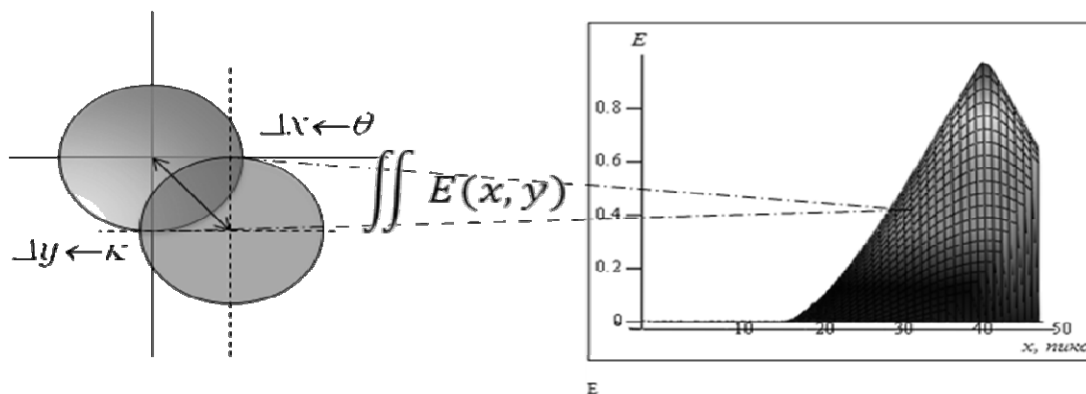


Рис. 4. Пересечение транспарента и пучка формирует освещенность каждой точки изображения

Описанная модель помогла выявить закономерности и подтвердить аналитические предположения относительно распределения освещенности как при изменении угла поворота контрольного элемента, так и при изменении дистанции до него.

Далее приведен пример расчета погрешности, вызванной виньетированием пучка автоколлимационной системы с диаметром объектива 40 мм, фокусным расстоянием 250 мм, диаметром излучающей марки 1 мм (рис. 5).



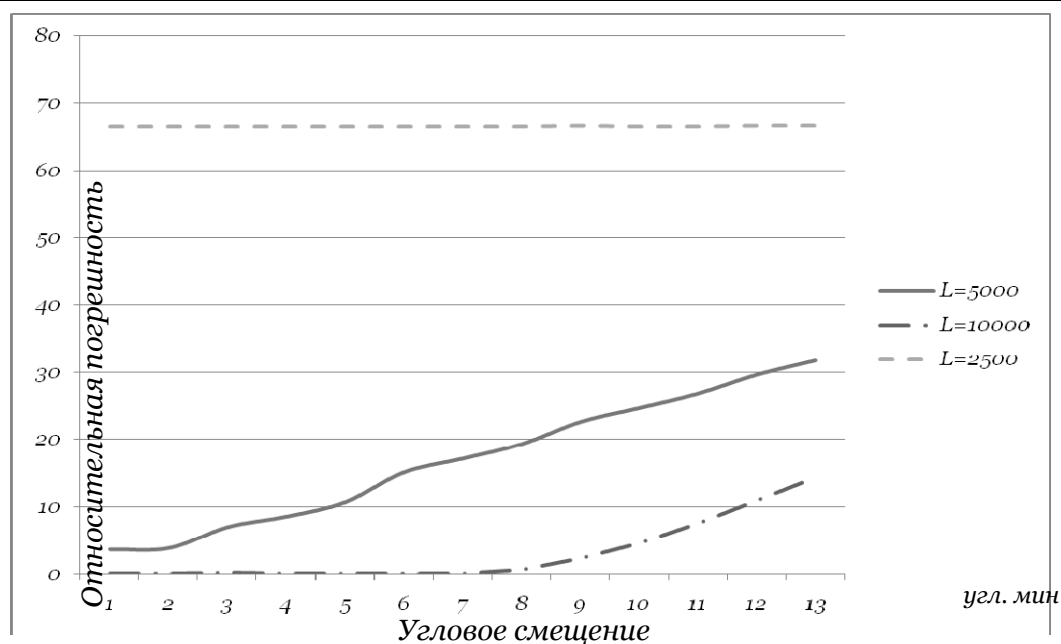


Рис. 5. Зависимость погрешности, вносимой виньетированием от угла поворота КЭ, и дистанции до него

Каждая кривая семейства построена для диапазона углового смещения контрольного элемента от 1' до 13', а сами кривые отличны между собой дистанцией до контрольного элемента: 5000 мм (точка формирования пучка), 10000 мм и 2500 мм.

### Заключение

В ходе проведенной работы была построена модель автоколлимационной схемы с геометрической трассировкой лучей, излучаемых излучающей маркой произвольной формы, с изменением лучей элементами системы.

При рассмотрении типичной схемы с круглой равномерно светящей маркой и оптическими элементами с круглой апертурой были рассмотрены зависимости распределения освещенности, и сделаны соответствующие выводы о последующем характере построения компенсационных алгоритмов погрешности виньетирования.

Исследования выполняются в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» и федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

### Литература

1. Коняхин И. А., Панков Э. Д. Трехкоординатные оптические и оптико-электронные угломеры: Справочник. – М.: Недра, 1991.
2. Проектирование оптико-электронных приборов: Учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп./Ю. Б. Парвулюсов, С.А. Родионов, В.П. Солдатов и др.; Под ред. Ю.Г. Якушенкова. – М.:Логос, 2000. – 488с.:ил.
3. Амосова О.А., Вестфальский А.Е. Применение пакета MATHCAD к решению вычислительных задач. – М.:Издательский дом МЭИ, 2007. – 30 с.
4. Pascal Getreuer, Writing Fast MATLAB Code. – Columbia University, 2004. – 16 p.

УДК 681.513.3

## НАБЛЮДАТЕЛЬ ВОЗМУЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Н.А. Смирнов, Д.А. Субботин

В статье исследуется эффективность применения наблюдателя возмущений в системе управления скоростью следящего электропривода. Выводится математическая зависимость средне-квадратичной ошибки скорости от параметров наблюдателя. Рассматриваются различные структуры наблюдателя возмущений и делается вывод об области их применения.

**Ключевые слова:** следящий электропривод, наблюдатель возмущений, компенсация возмущений.

### Введение

В настоящее время для внешнетраекторных измерений ракетно-космической и авиационной техники активно внедряются телескопы траекторных измерений нового поколения с безредукторным прецизионным цифровым электроприводом. К системам управления таким электроприводом предъявляются повышенные требования по минимизации угловой и скоростной ошибок наведения.

На ошибку влияют различные возмущения в электрической и механической частях привода. Одним из способов компенсации подобных возмущений является увеличение чувствительности регуляторов и повышения быстродействия системы управления, что может привести, однако, к чрезмерной чувствительности системы к погрешностям идентификации объекта управления. Другим способом повышения точности является применение наблюдателя возмущающих воздействий.

Наблюдатель восстанавливает сигнал возмущения из выходного сигнала системы управления и формирует компенсирующее воздействие. Затем это воздействие суммируется с сигналом управления, сформированным основным регулятором, и подается на вход объекта управления.

Подобный подход используется, например, в наблюдателе возмущений, предложенном корейскими учеными в [1] для улучшения характеристик системы управления магнитным подвесом и названном авторами DOB (disturbance observer). В данной статье предлагается модифицированная структура наблюдателя и сравнивается эффективность применения обеих структур для систем управления скоростью следящего электропривода ТТИ.

Объект управления представляет собой лабораторный стенд с выраженной двухмассовостью. Система управления замыкается по скорости и настроена на симметричный оптимум [2]. В качестве датчика обратной связи используется угловой оптический энкодер, установленный на первой массе. Качество управления определяется по минимизации средне-квадратичной ошибки, рассчитываемой после того, как система выходит в установившийся режим. Передаточная функция объекта идентифицирована по методике, предложенной в [3], в системе задание – скорость объекта (1). Полином четвертого порядка в знаменателе имеет пару комплексно-сопряженных и два вещественных корня. В числителе находится полином второго порядка с парой комплексно-сопряженных корней:

$$W_{ob}(s) = 440 \cdot \frac{P(5.7 \pm 69i)}{P(-3.3; -68; 18.7 \pm 236i)} \quad (1)$$

где  $P(n1; n2)$  – многочлен с нормированным свободным членом с корнями  $n1, n2$ .

### Наблюдатель возмущений

Структура DOB изображена на рис. 1, а. Оценка возмущения производится по сигналу скорости путем домножения его на обратную функцию объекта управления и вычитания из полученного произведения сигнала на входе объекта. В связи с тем, что

порядок числителя передаточной функции объекта меньше порядка знаменателя, вводится дополнительный фильтр, выравнивающий порядки числителя и знаменателя наблюдателя. В результате оценка возмущения отличается от самого возмущения на передаточную функцию фильтра, который вносит в оценку возмущения временную задержку:

$$f_{est} = -(u - f_{est}) \cdot W_f(s) + (u - f_{est} + f) \cdot W_{ob}(s) \cdot \frac{W_f(s)}{W_{ob}(s)},$$

$$f_{est} = f \cdot W_f(s),$$

где  $u$  – управляющее воздействие регулятора системы управления скоростью,  $f$  – возмущающее воздействие,  $f_{est}$  – оценка возмущающего воздействия наблюдателем,  $W_f(s)$  – передаточная функция фильтра,  $W_{ob}(s)$  – передаточная функция объекта управления. В данной работе для наблюдателя был выбран фильтр Бесселя второго порядка. Так как его ФЧХ наиболее приближена к линейной, он имеет постоянную временную задержку, не зависящую от частоты входного сигнала.

В исследуемом лабораторном стенде основным возмущающим воздействием является зубцовый момент вентильного двигателя, представляющий собой периодическую функцию времени, период которой прямопропорционален скорости вращения вала двигателя. Модель зубцового момента достоверно описывается суммой трех синусоид. Частота основной гармоники равна 0,4 Гц при скорости вала 1 град/с. Частоты второй и третьей гармоник равны удвоенной и утроенной частоте первой гармоники соответственно.

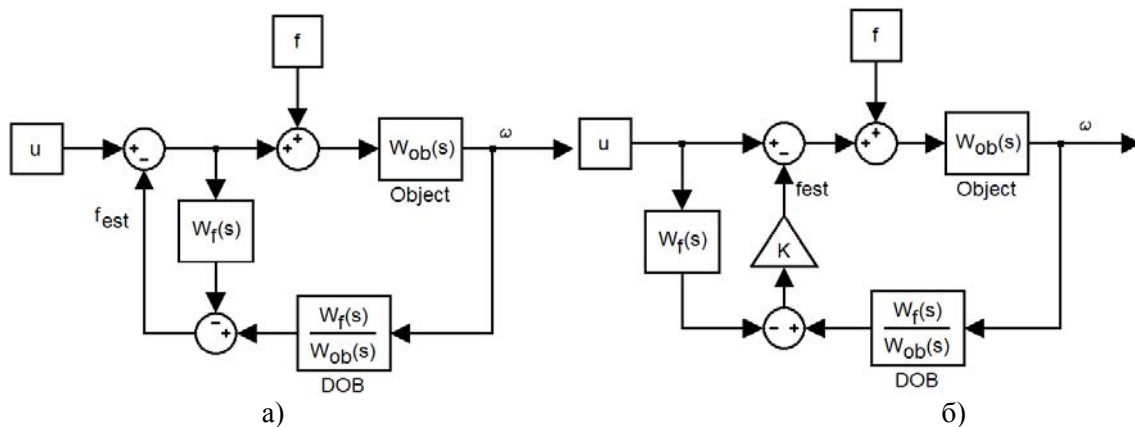


Рис. 1. Структура наблюдателей DOB (а) и MDOB(б)

Отметим, что не имеет значения, действует ли возмущение на входе или внутри объекта. Предположим, что объект управления представляется произведением двух передаточных функций,

$$W_{ob}(s) = W_{ob1}(s) \cdot W_{ob2}(s),$$

а возмущение действует между этими передаточными функциями. Покажем, что наблюдатель корректно оценивает возмущение (для простоты примем управление равным нулю):

$$f_{est} = (f - f_{est} \cdot W_{ob1}(s)) \cdot W_{ob2}(s) \cdot \frac{W_f(s)}{W_{ob}(s)},$$

$$f_{est} = (f - f_{est} \cdot W_{ob1}(s)) \cdot W_{ob2}(s) \cdot \frac{W_f(s)}{W_{ob}(s)},$$

$$f_{est} = f \cdot \frac{1}{W_{ob1}(s)} \cdot W_f(s).$$

Таким образом, оценка возмущения содержит в себе обратную функцию первой части объекта и, пройдя через нее, отличается от возмущения на передаточную функцию фильтра, как если бы возмущение действовало на входе объекта.

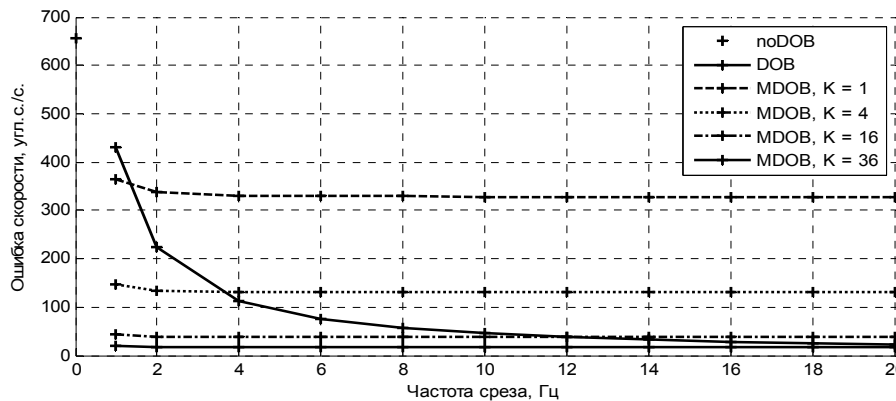


Рис. 2. Ошибка скоростной системы в зависимости от частоты среза наблюдателя

В соответствии с вышеизложенным сигнал возмущения подается на вход объекта. Регулируемым параметром в наблюдателе является частота среза фильтра Бесселя. С увеличением частоты среза повышается точность оценки возмущения и уменьшается СКО скоростной системы по заданию (рис. 2). При этом увеличение частоты среза выше 15–20 Гц дает незначительный прирост точности и нецелесообразно.

### Модифицированный наблюдатель возмущений

С целью повышения эффективности компенсации возмущений авторами была исследована модифицированная структура наблюдателя возмущений, названная MDOB (modified disturbance observer) (рис. 1, б). Данной структуре соответствуют следующие математические соотношения:

$$f_{est} = -u \cdot W_f(s) + (u - f_{est} + f) \cdot W_{ob}(s) \cdot \frac{W_f(s)}{W_{ob}(s)},$$

$$f_{est} \cdot (1 + W_f(s)) = f \cdot W_f(s),$$

$$f_{est} = f \cdot \frac{K \cdot W_f(s)}{1 + K \cdot W_f(s)}, \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент обратной связи наблюдателя по возмущению.

При структуре, описываемой (2), временная задержка оценки возмущения меньше, чем для DOB. Изменение частоты среза фильтра меньше влияет на ошибку (рис. 2) и по результатам моделирования представляются оптимальными значения 2-3 Гц. Гораздо большее влияние оказывает коэффициент  $K$ . Его эффективный диапазон регулирования в пределах до 30-40.

### Вывод передаточной функции скоростной ошибки от возмущения

Уменьшение скоростной ошибки обуславливает дополнение, вносимое наблюдателем в передаточную функцию ошибки от возмущения:

$$\frac{\omega_{err}}{f} = \frac{1}{1 + W_{ob}(s) \cdot W_{reg}(s)} \cdot W_D(s)$$

где для DOB

$$W_D(s) = W_f(s) - 1 = -\frac{s^2 + (2\pi\sqrt{3} \cdot F_s) \cdot s}{s^2 + (2\pi\sqrt{3} \cdot F_s) \cdot s + (2\pi \cdot F_s)^2},$$

для MDOB

$$W_D(s) = \frac{K \cdot W_f(s)}{1 + K \cdot W_f(s)} - 1 = -\frac{s^2 + (2\pi\sqrt{3} \cdot F_s) \cdot s + (2\pi \cdot F_s)^2}{s^2 + (2\pi\sqrt{3} \cdot F_s) \cdot s + (K+1)(2\pi \cdot F_s)^2},$$

где  $F_s$  – частота среза фильтра Бесселя.

Построив несколько кривых АЧХ  $W_d(s)$  для обеих структур наблюдателя в зависимости от параметров  $F_s$  и  $K$  (рис. 3), можно заметить, что наблюдатель обеспечивает разное ослабление ошибки в зависимости от частоты возмущения, пропорциональной скорости слежения ГТИ. DOB имеет преимущество на инфранизких частотах возмущения, величиной приблизительно до 0,5 Гц. В области низких и средних частот большее ослабление ошибки обеспечивает MDOB. За пределами эффективного диапазона ослабления ошибки DOB обладает лучшими характеристиками, меньше усиливая соответствующие гармонические составляющие ошибки.

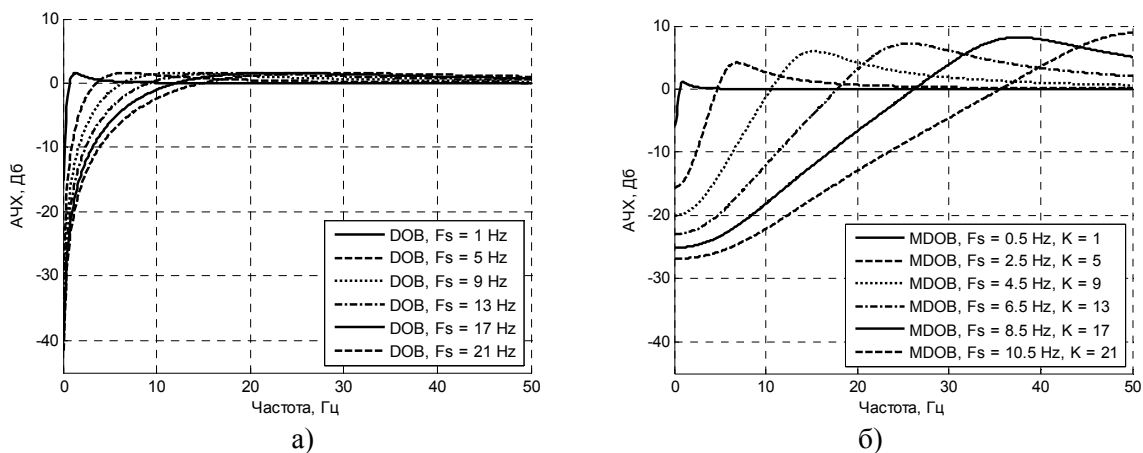


Рис.3 Изменение, вносимое наблюдателем в АЧХ передаточной функции ошибки от возмущение: DOB (а) и MDOB(б).

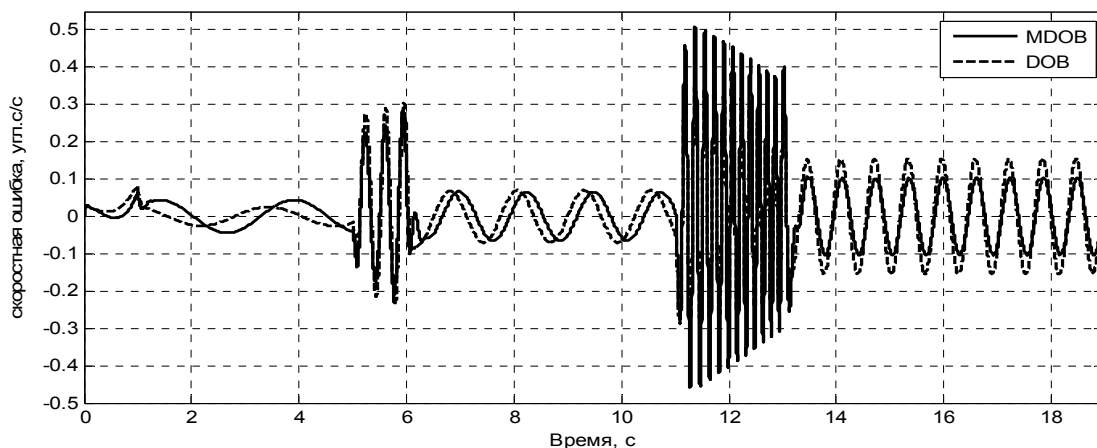


Рис. 4. Изменение скоростной ошибки при повышении частоты возмущения

Большая крутизна АЧХ для DOB в области низких и инфранизких частот обуславливает более высокую чувствительность величины скоростной ошибки системы с DOB к изменению частоты сигнала возмущения, чем для системы с MDOB. На рис. 5 показана зависимость ошибки скорости от частоты подаваемого возмущения. Вначале скорость задания равна 1 град/с, затем возрастает до 2 град/с и до 4 град/с. Частота сигнала возмущения равна 0,4 Гц при скорости задания 1 град/с и далее изменяется пропорционально.

При использовании MDOB ошибка меняется в меньшем диапазоне, чем с DOB. В числителе АЧХ  $W_d(s)$  для DOB свободный член равен нулю, следовательно, вне зависимости от величины частоты среза фильтра изменение ошибки системы будет прямо пропорционально изменению частоты возмущения, а значит и скорости объекта. Наличие свободного члена в числителе  $W_d(s)$  для MDOB обуславливает более мягкую зависимость скоростной ошибки от частоты возмущения, что упрощает настройку системы.

### Проверка наблюдателей на лабораторном стенде

На лабораторном стенде ошибка замкнутой системы регулирования скорости без наблюдателя возмущений составляет 695,7 угл. с/с при задании 1 град/с. Использование наблюдателя, независимо от его структуры, заметно улучшает точностные характеристики системы (рис. 5). Минимальная ошибка для DOB составила 131,4 угл.с/с., использование MDOB позволило уменьшить ошибку до 121,9 угл.с/с. При этом частота среза фильтра для DOB ограничивается на уровне 4-5 Гц. Для MDOB минимальная ошибка была достигнута при частоте среза 2 Гц и коэффициенте  $K$ , равном 6. При более высоких значениях возникают высокочастотные колебания, увеличивающие СКО, при дальнейшем увеличении частоты среза система выходит за границы устойчивости.

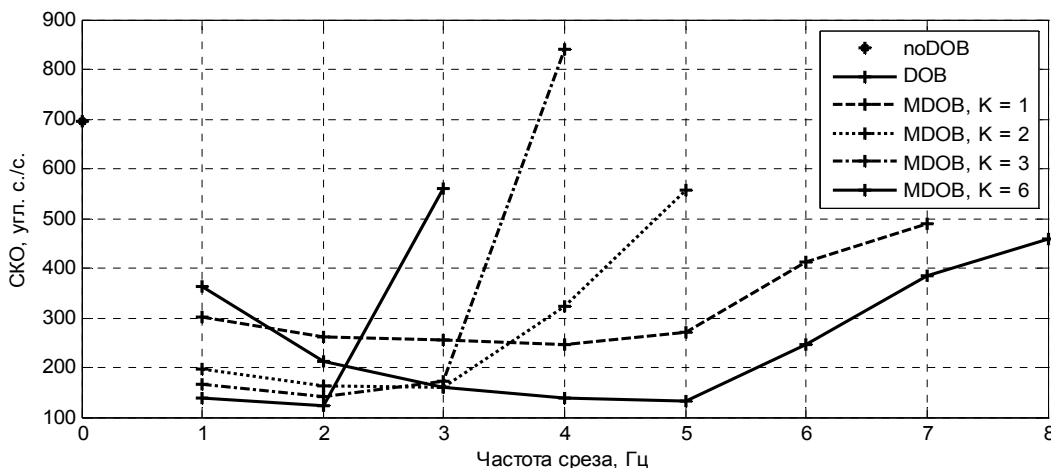


Рис. 5. Кривые зависимостей СКО системы управления скоростью лабораторного стенда от частоты среза фильтра при скорости 1 град/с.

Параметры наблюдателей ограничены неточностью идентификации объекта, в связи с чем в наблюдателе не полностью компенсируется влияние объекта на сумму управления и возмущения. Далее эта разница напрямую поступает на вход объекта, вызывая дополнительные колебания. Результаты дополнительного моделирования подтверждают данный вывод.

При увеличении скорости задания с одного до восьми градуса в секунду в системе с MDOB ошибка возрастает со 122 до 834 угл. с/с., в системе с DOB – с 131 до 927 угл.с/с. Без использования наблюдателя при скорости задания 8 град. с/с. скоростная ошибка составляет 2174 угл. с/с. Эти данные согласуются с выводом о меньшей чувствительности MDOB к изменению частоты возмущения.

### Заключение

В ходе исследования было выявлено, что наблюдатель с оригинальной структурой обладает преимуществом при возмущениях с частотой приблизительно до 0,5–1 Гц. Для зубцового момента, присущего двигателю лабораторного стенда это соответствует скоростям слежения до 1–2,5 град/с. При этом, за счет большей чувствительности DOB

к изменению частоты действующего возмущения, настройка системы управления с DOB так, чтобы ошибка не превышала некоторого максимального значения на всем заданном диапазоне скоростей, оказывается более трудоемкой.

Наблюдатель со структурой MDOB эффективнее компенсирует возмущение в области частот от одного до нескольких десятков герц, в зависимости от выбора коэффициента  $K$  и частоты среза фильтра  $F_s$ . Меньшая зависимость роста СКО от повышения частоты возмущения упрощает настройку системы управления.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что возможности настройки наблюдателя зависят от качества идентификации объекта управления. По результатам моделирования можно заключить, что наблюдатель становится менее устойчивым, если модель, полученная в ходе идентификации, быстрее идентифицируемого объекта и имеет больший коэффициент усиления. Поэтому, если при настройке наблюдателя не удастся повысить устойчивость системы, следует понизить характеристики объекта для расчета наблюдателя.

Несмотря на ограничения, накладываемые возможной неточностью идентификации, использование наблюдателя позволяет уменьшить ошибку поддержания заданной скорости в электроприводе ТТИ в 3-6 раз, в зависимости от величины задания. Таким образом, можно сделать вывод об эффективности применения наблюдателя возмущения в системах управления следящим электроприводом. Выбор конкретной структуры наблюдателя зависит от предполагаемого режима работы электропривода и ложится на разработчика системы управления.

### Литература

1. Park, C.H., Choi, S.K., Nam, S.Y. Design and control for hybrid magnetic thrust bearing for turbo refrigerant compressor // IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE). – 2011, pp.792–797.
2. Ключев, В.И.. Теория электропривода: учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, – 2001. – 704 с.
3. Арановский С.В. Идентификация полюсов электромеханического объекта на основе сдвигов фаз // Информатика и системы управления. – 2011. – 1. С. 97–107.

УДК 681.5.11

## ФОРМИРОВАНИЕ ЗАДАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ВИДЕ ТРАПЕЦИДАЛЬНОЙ ДИАГРАММЫ СКАНИРОВАНИЯ

Д.А. Субботин

Обсуждаются проблемы формирования сигнала задания в виде трапецидальной диаграммы сканирования для электропривода сканирующей оси инфракрасного телескопа построенного на основе бесконтактного магнито-электрического преобразователя с ограниченным углом поворота. Предложена структурная схема одноконтурной системы регулирования скорости. Проведено математическое моделирование процессов сканирования при заданных характеристиках МЭП для двух разных способов формирования задающего воздействия и анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** магнитоэлектрический преобразователь, система стабилизации скорости, переходные процессы, задающее воздействие, сигнал управления, режимы сканирования, инфракрасный телескоп.

### Введение

В современном мире требования к точности систем управления инфракрасными телескопами траекторных измерений чрезвычайно высоки. Это накладывает определенные требования и на задающие воздействия, которые во многом определяют траектории движения, скорости и ускорения конечной системы. Особой спецификой

отличаются сигналы задания для систем управления электроприводов осей сканирования, обеспечивающие, во многих случаях, движение оси в пределах малых углов, в соответствии с временной диаграммой, представленной на рис. 1.

Полный цикл сканирования  $T_{ск}$  содержит 2 участка рабочего хода ( $t_1-t_2$  и  $t_3-t_4$ ) с длительностью  $t_p$  и 2 участка нерабочего хода ( $t_2-t_3$  и  $t_4-t_5$ ) с длительностью  $t_{нр}$ . На участках рабочего хода угол поворота оси должен меняться линейно в пределах от  $-\alpha_{гр}$  до  $+\alpha_{гр}$  (кривая 1 на рис.2) с допустимой погрешностью поддержания скорости (кривая 2 на рис.2) на рабочем участке  $\Delta\%$ . Закон изменения угла на участках нерабочего хода не лимитируется.

Длительность нерабочего хода измеряется между окончанием одного рабочего хода и началом следующего. Время выхода на одну из границ рабочего диапазона углов из произвольной точки первоначального положения не должно превышать 0,2 с.

Параметры диаграммы и требования к точности ее воспроизведения зависят от заданного режима сканирования. Здесь будем ориентироваться на параметры диаграммы, представленные в таблице.

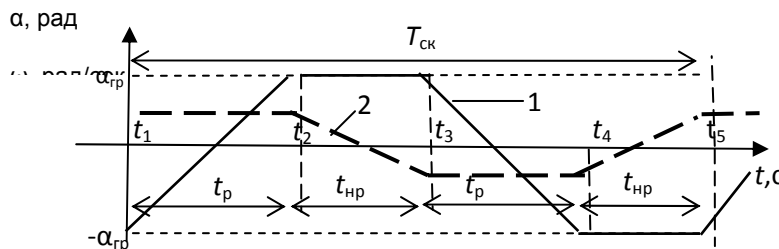


Рис.1. Детальная диаграмма сканирования

$\alpha_{гр}, ' $	$T_{ск}, с$	$t_p, с$	$t_{нр}, с$	$\Delta\%$
30	2,4	1	0,2	6

Таблица 1. Параметры диаграммы сканирования

При формировании задающего воздействия напрямую, особенно при больших значениях индуктивности обмоток преобразователя, возникает всплеск напряжения на выходе усилительно-преобразовательного устройства (УПУ) на границе смены рабочих участков диаграммы сканирования, связанный с крутизной фронтов и резкими переходами задающего воздействия. Это приводит к необходимости установки и использования более мощных УПУ, способных выдержать подобное перенапряжение, что сказывается на массогабаритных показателях и стоимости готовой системы. К тому же всплески задания, и, как следствие, скачкообразные изменения скорости и ускорения негативно сказываются на механических частях привода.

Исходя из вышесказанного становится понятно, что для снижения перенапряжения на обмотках, необходимо либо увеличивать время переходных процессов, тем самым уменьшая крутизну фронтов и делая переходы задающего воздействия менее резкими, либо формировать траектории движения на нерабочем участке так, чтобы подход к рабочему участку и выход с него осуществлялся с нулевым ускорением.

### Система управления

Ввиду достаточно малого диапазона изменения угла поворота оси сканирования для реализации электропривода нет необходимости использовать традиционные



электродвигатели с неограниченным углом поворота, возможно применение бесконтактных магнитоэлектрических преобразователей (МЭП).

В работе [1] проведен анализ статических и динамических характеристик МЭП с ограниченным углом поворота для приводов сканирования с малыми индуктивностями обмоток управления. В работе [2] предложена векторно-матричная математическая модель и методика синтеза системы управления электропривода оси сканирования с внутренним контуром динамической коррекции и внешним контуром регулирования угла. Испытание приводов сканирования на реальных ОПУ показало на необходимость учета при синтезе как значительных индуктивностей обмоток управления МЭП, так и моментов нагрузки типа «сухое трение». При подходах, описанных в работах [1] и [2], быстродействие системы управления становится соизмеримым с длительностью рабочих участков диаграммы сканирования, а увеличение моментов нагрузки на оси приводит к существенному ухудшению линейности. В этих условиях требуемое движение оси невозможно обеспечить ни в одном из режимов сканирования.

Устранение влияния указанных факторов возможно в структурах, замкнутых по скорости вала ЭМП при отработке входных воздействий в виде диаграмм, представленных кривой 2 на рис.1. Один из возможных вариантов структурного построения замкнутых по скорости систем управления, показан на рис.3: одноконтурная структура с ПД-регулятором  $P$  и задающим воздействием  $U_3$  в виде диаграммы 2 на рис.1.

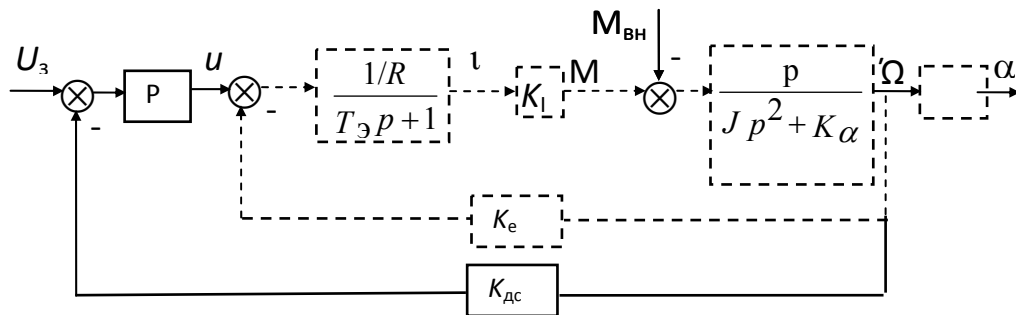


Рис. 2. Структурная схема системы управления

На рис.2 штриховыми линиями выделены элементы и связи, образующие структурную схему собственно электромеханического преобразователя, обоснованную в работе [1]. В приведенной схеме:  $u$  и  $i$  – соответственно напряжение на обмотке управления МЭП и ток в обмотке;  $\alpha$  и  $\Omega$  – соответственно угол поворота оси и ее угловая скорость;  $R$  и  $L$  – соответственно активное сопротивление и индуктивность обмотки управления;  $K_e$  – крутизна противо э.д.с.;  $J$  – суммарный момент инерции по оси сканирования,  $M_c$  – момент типа «сухое трение»;  $K_\alpha = dM/d\alpha$  – жесткость механической характеристики или жесткость «магнитной пружины»;  $K_i = dM/di$  – жесткость моментной (тяговой) характеристики или чувствительность по току;  $f$  – коэффициент внутреннего демпфирования. Далее при расчетах и моделировании будем ориентироваться на следующие параметры МЭП с нагрузкой:  $K_\alpha = 4500 \text{ Н}\cdot\text{м/рад}$ ,  $K_i = 120 \text{ Н}\cdot\text{м/А}$ ;  $K_e = 1,5 \text{ В}\cdot\text{с/рад}$ ;  $L=0,6 \text{ Гн}$ ;  $R=10,5 \text{ Ом}$ ;  $J= 250 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $f=0$ . Электрическая постоянная времени  $T_3 = L/R=0,057 \text{ с}$ . Возможный диапазон изменения статического момента  $M_c$  – (5 – 25)Н·м. Предельно-допустимое значение напряжения на обмотке управления ЭМП-48 В.

Синтез системы управления аналогичен рассмотренному в работе [1] с той разницей, что при расчете контура регулирования скорости электрической постоянной времени  $T_e$ , в силу увеличенного значения индуктивности обмоток, нельзя пренебречь.

Именно поэтому в данной системе применяется ПД-регулятор с замедлением, в отличие от П – регулятора применяемого в [1].

Осуществляя компенсацию электрической постоянной времени обмотки управления выбором  $T_d=T_3$ , где  $T_3$  – электрическая постоянная времени  $T_3=L/R$ , и  $T_v \ll T_d$ , без большой погрешности передаточные функции контура по задающему  $U_3$  и возмущающему  $M_c$  воздействиям, где  $M_c = M_c \cdot \text{sign}(\Omega)$ , можно представить в виде выражений

$$\frac{\Omega(p)}{U_3(p)} = \frac{pK_{\Omega}^*}{\left(\frac{1}{\omega_0^2} p^2 + \frac{K_{\Omega}^*}{\omega_0^2} p + 1\right) K_{dc} \omega_0^2},$$

$$\frac{\Omega(p)}{M_c(p)} = \frac{p}{\left(\frac{1}{\omega_0^2} p^2 + \frac{K_{\Omega}^*}{\omega_0^2} p + 1\right) K_{\alpha}},$$

где  $\omega_0 = \sqrt{K_{\alpha}/J}$  – резонансная частота ЭМП,  $K_{\Omega}^* = \frac{K_I K_{п1} K_{dc}}{JR}$ . Эти передаточные функции при  $K_{dc} \gg K_{\epsilon}$  и выборе коэффициента  $K_{\Omega}^*$  из условия  $K_{\Omega}^* \geq 2\omega_0$ , принимают вид:

$$\frac{\Omega(p)}{U_3(p)} = \frac{K_{\Omega}^* p}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) K_{dc} \omega_0^2},$$

$$\frac{\Omega(p)}{M_c(p)} = \frac{p}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) K_{\alpha}}.$$

Постоянные времени определяются по формулам:

$$T_1 = \frac{1}{\frac{K_{\Omega}^*}{2} - \sqrt{\left(\frac{K_{\Omega}^*}{2}\right)^2 - \omega_0^2}}, T_2 = \frac{1}{\frac{K_{\Omega}^*}{2} + \sqrt{\left(\frac{K_{\Omega}^*}{2}\right)^2 - \omega_0^2}}.$$

### Математическое моделирование процессов сканирования

Для моделирования переходных процессов в системе воспользуемся пакетом моделирования Mathcad.

На рис. 3 изображены диаграммы заданного значение скорости, тока, скорости, угла поворота и напряжения на выходе УПУ при формировании задающего воздействия в соответствии с кривой 2 рис. 1 и наличии максимального момента сопротивления  $M_c = 25 \text{ Нм}$ . Здесь 1 – заданное значение скорости  $\Omega_3$ , 2, 3, 4 – кривые соответственно скорости  $\Omega$ , угла поворота  $\alpha$ , тока в обмотке управления  $i$ , 5 – диаграмма напряжения на обмотке управления.

На рис. 3 явно видны всплески напряжения (кривая 5) на выходе усилительно-преобразовательного устройства (УПУ) на границе смены рабочих участков диаграммы сканирования. Дело в том, что описанная система является статической, и следовательно ей свойственна ошибка, пропорциональная скорости изменения сигнала задания на нерабочем участке диаграммы сканирования. Поскольку скорость задания при смене участков меняется практически скачком, скачком изменяется и ошибка на входе ПД-регулятора. Этим обусловлены и всплески напряжения на обмотке управления. Чем выше требуемая точность поддержания скорости на рабочем участке диаграммы, тем выше  $K_{п1}$  и тем больше амплитуда всплесков.

При наличии нагрузки типа «сухое трение» на валу двигателя на графике напряжения появляется дополнительный пик в момент перехода скорости через 0. Эти всплески, по амплитуде достигающие значения 68 В, объясняются высокой скоростью изменения тока в обмотке управления и, следовательно, всплеском напряжения на индуктивности обмотки управления при смене знака реактивного момента  $M_c$

$\Omega_3, 1/c$

$\Omega, 1/c$

$\alpha, \text{рад}$

$i, \text{A}$

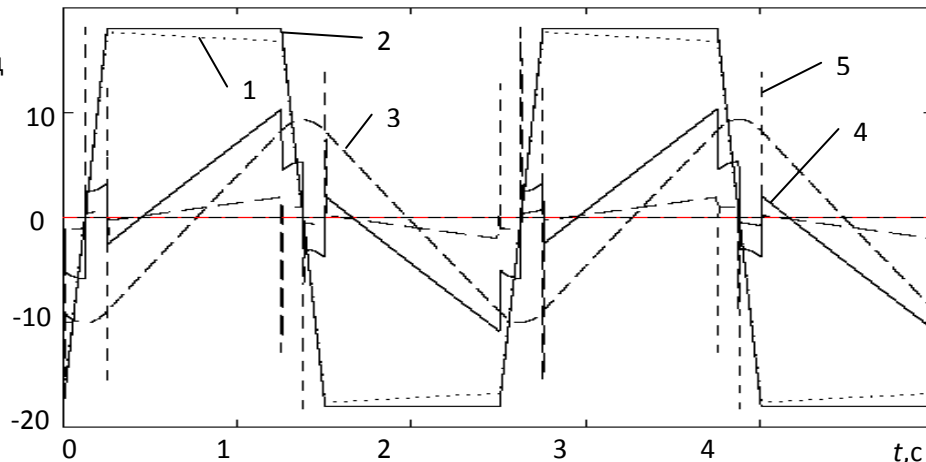


Рис.3. Диаграмма моделирования режима сканирования в широком угловом поле:  
1 - заданное значение скорости  $\Omega_3$  в масштабе 1000:1; 2 - скорость в масштабе 1000:1 (рад/с); 3 - угол поворота вала МЭП в масштабе 1000:1; 4 - ток в обмотке управления в масштабе 20:1; 5 - напряжение на обмотке управления в масштабе 1:3

### Формирования задания

Как уже было сказано выше, одной из основных проблем для рассмотренной выше структуры управления являются скачки напряжения задания на обмотках управления МЭП в переходных режимах, связанные с крутизной фронтов и резкими переходами задающего воздействия. Сформируем траекторию движения на нерабочем участке так, чтобы подход к рабочему участку и выход с него осуществлялся с ускорением, максимально приближенным к нулевому.

Сформируем задающее воздействие в соответствие с формулой:

$$U_{\text{exp}}(t) = (1 - 1 \cdot \exp(-\text{Slope} \cdot \left| \sin\left(2 \cdot \frac{3.14}{T_{\text{sin}}} \cdot t\right) \right|) \cdot \text{sign}\left(\sin\left(\frac{2 \cdot 3.14}{T_{\text{sin}}} \cdot t\right)\right)), \quad (1)$$

где Slope – крутизна наклона – позволяет регулировать «нерабочий участок»,  $T_{\text{sin}}$  – период синусоиды – позволяет менять ширину поля.

Как явно видно на рисунке, сигналы почти полностью совпадают: отличия заключаются в более крутом наклоне нерабочего участка и плавном выходе на заданное значение скорости. Промоделируем систему, используя полученную диаграмму в качестве входного сигнала (рис. 5).

Как явно видно из графиков, скачки напряжения на обмотке управления, при подаче задания, сформированного по формуле (1), как и предполагалось, исчезли. Максимальные значения напряжения в моментах смен участков работы диаграммы сканирования составляют порядка 24 В.

Таким образом, можно утверждать, что применение сигнала задания сходного по форме с заданием, сформированным по формуле (1) позволяет существенно снизить перенапряжение на обмотках УПУ.

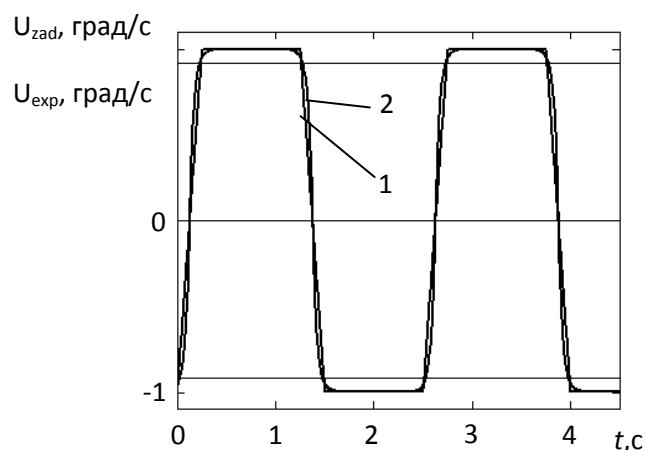


Рис. 4. Диаграммы исходного сигнала и сигнала полученного по формуле (1)

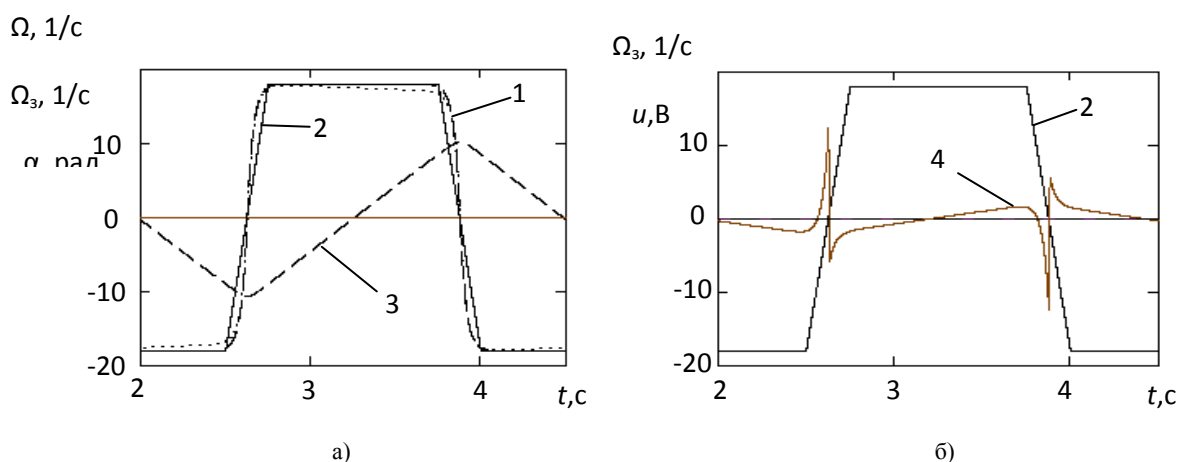


Рис. 5. Диаграмма моделирования режима сканирования в широком угловом поле:  
 1 - диаграмма скорости  $\Omega$ , полученная на модели в масштабе 1000:1 (рад/с); 2 – заданное значение скорости  $\Omega_3$  в масштабе 1000:1; 3 - угол поворота вала МЭП  $\alpha$  в масштабе 1000:1; 4 – напряжение на обмотке управления  $u$  в масштабе 1:2

Однако, несмотря на полученные положительные результаты, рассмотренная система управления является статической по возмущающему воздействию и при наличии значительного момента типа «сухое трение» наблюдается увеличение погрешности поддержания скорости на рабочем участке диаграммы сканирования, граничащее с максимально допустимым отклонением по скорости, указанным в таблице 1. Это приводит нас к необходимости поиска альтернативных структур систем управления. Одним из вариантов подобного решения может стать создание двухконтурной системы регулирования скорости с обеспечением астатизма как по задающему, так и по возмущающему воздействию в виде момента нагрузки типа «сухое трение».

### Заключение

В статье была предложена структурная схема системы управления электропривода оси сканирования инфракрасного телескопа на основе бесконтактного МЭП, построенная по одноконтурной системе регулирования скорости с компенсацией электрической постоянной времени с помощью ПД- регулятора.

Для данной структуры было проведено математическое моделирование и проиллюстрировано наличие всплесков напряжения на обмотках УПУ величиной до

52В. Было сделано заключение, о необходимости формирования траектории движения на нерабочем участке так, чтобы подход к рабочему участку и выход с него осуществлялся с ускорением максимально близким к нулевому. На основании этого заключения было сформировано задающее воздействие, позволяющее практически полностью исключить всплески напряжения и уменьшить величину максимального значения напряжения на УПУ до величины 24 В.

### Литература

1. Толмачев В.А., Демидова Г.Л. Математические модели и динамические характеристики электромеханических преобразователей с ограниченным углом поворота. // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. Т.51, № 11. с.18-23.
2. Толмачев В.А., Субботин Д.А.. Синтез системы управления электропривода сканирующей оси инфракрасного телескопа. Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. № 05(75)/2011. С.53-57.

УДК 681.5.11

## ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТРЕХМАССОВОЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОСЬЮ И ЕГО МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATLAB

Д.А. Субботин, М.Е. Сергеева

Для телескопов важную роль играет выбор оптимального закона управления. В данной статье будут рассмотрены наиболее простые в реализации законы движения. Объектом исследования данной работы является электропривод азимутальной оси большого наземного телескопа Алтайского оптико-лазерного центра.

**Ключевые слова:** оптимальное управление, перенаведение, слежение за объектом

### Введение

Требования к точностным показателям телескопов траекторных измерений в настоящее время чрезвычайно высоки. Это накладывает определенные требования не только на системы управления электроприводами, но и на задающие воздействия. Очевидно, что при подаче грамотно сформированного задания система будет работать лучше, а ошибки и перерегулирования будут меньше.

В статье [1] рассмотрены 6 различных видов задания с приоритетом различных величин: скорости, ускорения, времени перемещения. Данная статья детально описывает эти задания, но не указывает, где можно применить то или иное задающее воздействие. В рамках этой статьи мы рассмотрим возможности применения заданий, предложенных в статье [1] для различных режимов движения азимутальной оси инфракрасного телескопа, представленной трехмассовой моделью.

### Объект исследования

Объектом исследования является азимутальная ось большого инфракрасного телескопа, представленная трехмассовой моделью с системой управления построенной по четырехконтурной схеме регулирования положения (рис. 1).

Методика синтеза системы управления электропривода азимутальной оси алтайского телескопа ТИ-3.12 приведена в [2]. К тому же, синтезу систем управления прецизионными безредукторными следящими электроприводами азимутальной и

угломестных осей на основе вентиляльных двигателей посвящены работы [3–5] и др. Поэтому мы не будем касаться вопросов синтеза, а лишь ограничимся описанием исследуемого объекта. Параметры объекта приведены в табл. 1. Соотношения для выбора параметров регуляторов приведены в [2].

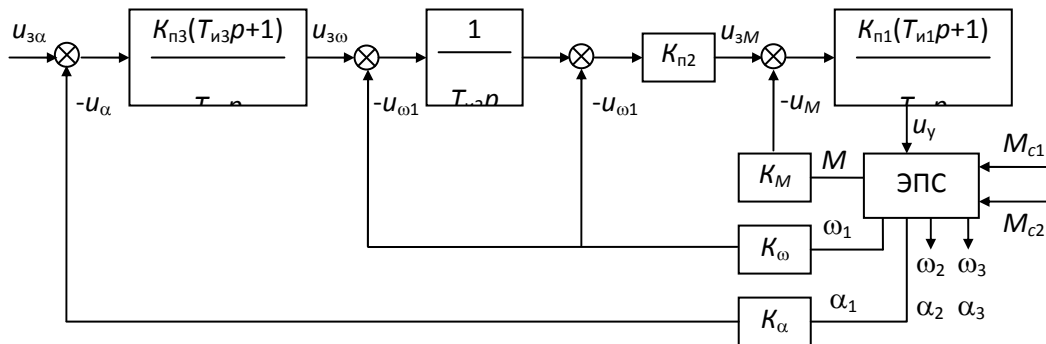


Рис.1. Структурная схема системы управления инфракрасного телескопа, представленного трехмассовой моделью

$J_1, \text{кгм}^2$	$J_2, \text{кгм}^2$	$J_3, \text{кгм}^2$	$K_{пр}, 1/\text{В}\cdot\text{с}$	$T_{пр}, \text{с}$	$\beta, \text{Нмс}$	$T_3, \text{с}$	$T_k, \text{с}$
2120	4480	197300	0.026	$2 \times 10^{-4}$	$2.9 \times 10^4$	$1.6 \times 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$

Таблица 1. Параметры объекта

### Математическое моделирование

В статье [1] рассмотрены наиболее простые в реализации законы движения. Приведем сводную таблицу различных режимов (табл. 2):

№ режима	Закон движения	описание
1		Движение происходит за оптимальное (минимальное) время при заданном граничном ускорении $a_{\max}$
2		Движение с минимальными потерями

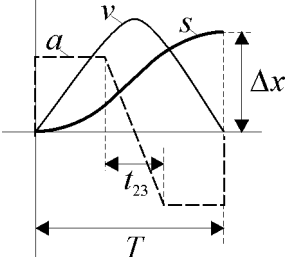
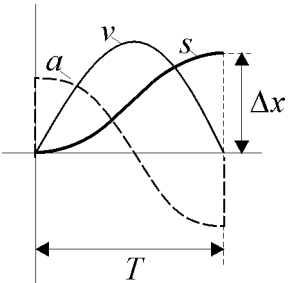
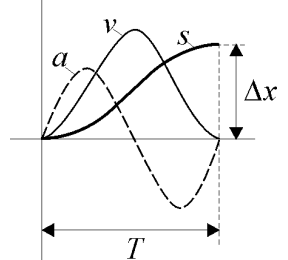
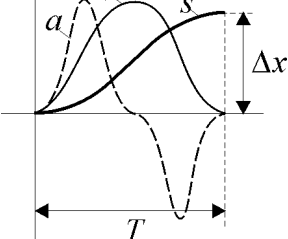
3		Компромиссом между процессом оптимальным по времени и по потерям является перемещение с ускорением, изменяющемся по трапецеидальному закону
4		Компромиссом между процессом оптимальным по времени и по потерям является перемещение с ускорением, изменяющимся по гармоническому закону с частотой $\omega_a = \pi/T$ , т.е. с полупериодом равным длительности перемещения
5		Управление с синусоидально меняющимся ускорением и частотой $\omega_a = 2\pi/T$ , период которой равен времени перемещения
6		Наиболее благоприятным с точки зрения воздействия на трансмиссию, является управление ускорением по бигармоническому или косинусному закону с частотой $\omega_a = 4\pi/T$

Таблица 2. Законы движения

Подробное описание каждого режима с формулами расчета и аналитическими соотношениями приведены в работе [1].

Все 6 режимов были исследованы на модели, которая соответствует структурной схеме представленной на рис. 1. Математическое моделирование проводилось с использованием пакета моделирования Matlab в среде Simulink. На рис. 2, 3 представлены результаты моделирования системы со следующими обозначениями:  $s$  – сигнал на выходе системы,  $s_{\text{задания}}$  – задающие воздействие,  $a$  – ускорение,  $v$  – скорость.

Существуют три основных режима работы инфракрасного телескопа: перенаведение, сканирование и слежение за объектом. Каждый из этих режимов характеризуется различными требованиями ко времени, скорости, ускорению, перемещению или постоянству ошибки слежения.

При работе в режиме перенаведения, от телескопа требуется перейти из одного положения в другое за минимальное время. В таблице 3 приведены данные

моделирования и расчетов (формулы, по которым проводились расчеты, см. [1]) 6 режимов при следующих параметрах: перемещение 10 град., максимальное ускорение  $a_{\max}$  равное 1,5 град/сек<sup>2</sup>. Как видно из таблицы, наиболее подходящим режимом, является режим №1. При использовании этого режима система делает переход из одной точки в другую за минимальное время. Недостатком этого режима является большие потери. На рис. 2 представлены результаты моделирования. Как видно из графиков, половину пути привод разгоняется с максимальным ускорением, а затем с таким же ускорением замедляется.

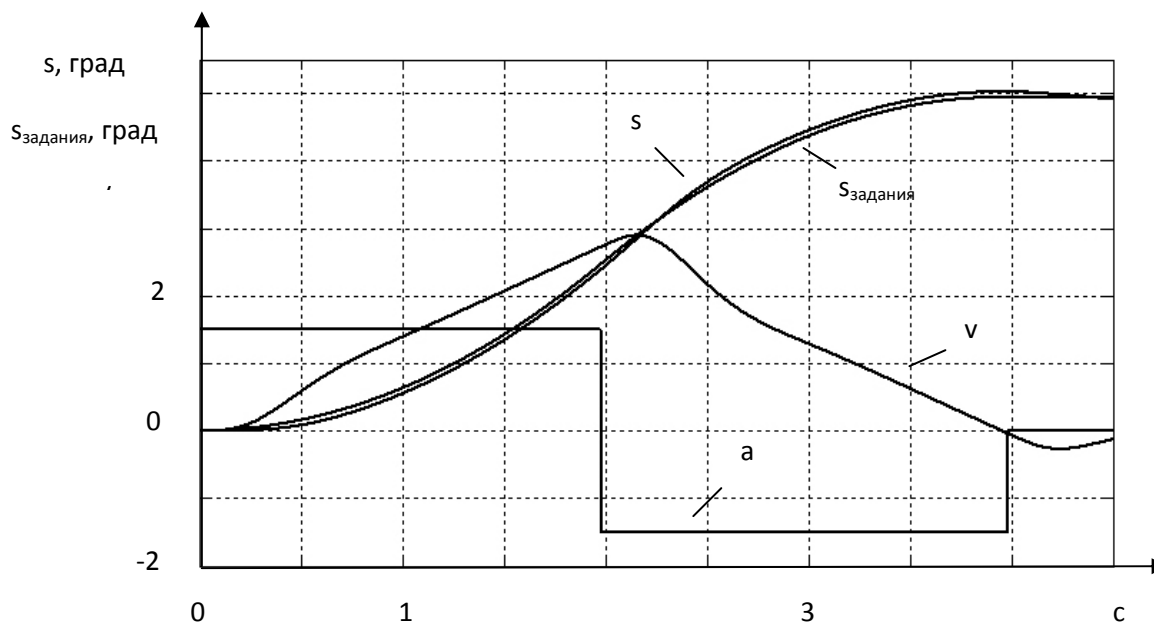
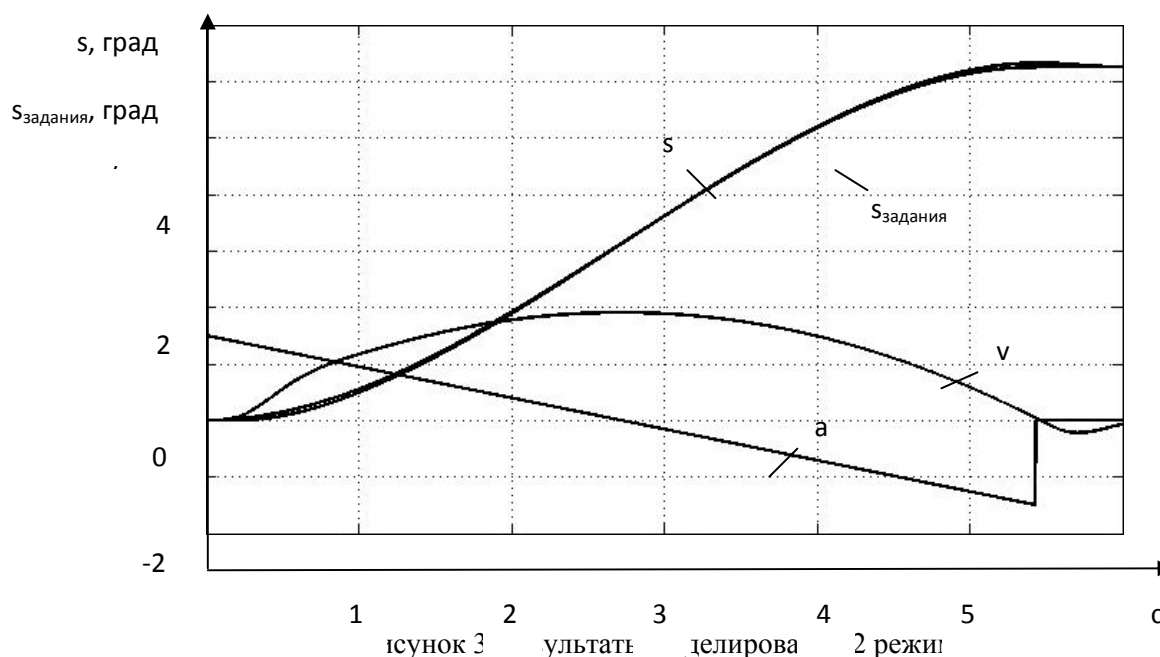


Рис. 2. Результаты моделирования 1 режима

		$a$ , ускорение	$s$ , перемещение	время
режим 1	расчет	1,5	5	3,65
	модель	1,5	5,04	3,71
режим 2	расчет	1,5	5	4,47
	модель	1,5	5,07	4,49
режим 3	расчет	1,5	5	3,77
	модель	1,5	5,03	3,8
режим 4	расчет	1,5	5	4,06
	модель	1,5	5,06	4,07
режим 5	расчет	1,5	5	4,576
	модель	1,5	5,03	4,60
режим 6	расчет	1,5	5	5,16
	модель	1,5	5,09	5,164

Таблица 3. Результаты моделирования и расчета для первого режима движения





		$a$ , ускорение	$s$ , перемещение	$v_{max}$ , скорость	Ошибка, %
режим 1	расчет	1,50	9,38	3,75	4,5
	модель	1,50	9,38	3,92	
режим 2	расчет	1,50	6,25	1,88	1
	модель	1,50	6,25	1,90	
режим 3	расчет	1,50	8,95	2,90	3,5
	модель	1,50	8,88	3,00	
режим 4	расчет	1,50	7,60	2,39	1,7
	модель	1,50	7,60	2,43	
режим 5	расчет	1,50	5,97	2,39	3,8
	модель	1,50	5,97	2,48	
режим 6	расчет	1,50	4,69	1,88	4,8
	модель	1,50	4,69	1,97	

Таблица 4. Результаты моделирования и расчета для второго режима движения

При работе в режиме слежения за объектом и сканирования нам необходимо плавное перемещение с минимальной ошибкой по скорости. Для выбора оптимального режима движения была составлена табл. 4, в ней приведены результаты моделирования и расчета при следующих параметрах: время ( $t$ ,  $T$ ) равно 5 секундам, максимальное ускорение  $a_{max}$  равно 1,5 град/сек<sup>2</sup>. Как видно из таблицы, наиболее подходящим режимом, является режим №2, так как во время него ошибка по скорости минимальна. Результаты моделирования представлены на рис.3.

### Заключение

В результате анализа расчетных данных и данных, полученных на модели, для режима перенаведения был выбран первый режим движения, так как он позволяет делать перевод из одной точки в другую за минимальное время. Для режима слежения и сканирования был выбран второй режим движения, так как при использовании этого режима наименьшая ошибка по скорости.

### Литература

1. Ильина А.Г., Лукичев Д.В., Усольцев А.А. Оптимальное управление движением при позиционировании и его моделирование в среде MathLab/Simulink // Изв. Вузов. Приборостроение. 2008. № 6. С. 63-67
2. Толмачев В.А., Никитина М.В., Сергеева М.Е. №05(69)/2010 Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики
3. Борисов П.А., Томасов В.С. Методы анализа и синтеза энергоподсистем электротехнических комплексов с высокими энергетическими показателями. //Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО 2009 . № 01 (59). с. 5-13.
4. Толмачев В.А., Никитина М.В., Сергеева М.Е. Синтез системы управления электропривода азимутальной оси алтайского телескопа ТИ.3-12. //Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2010, №5(69). С.39-43.
5. Толмачев В.А., Антипова И.В., Фомин С.Г.. Математическая модель следящего электропривода оси опорно-поворотного устройства.//Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2007. №44. С. 142-147

УДК 62-50

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРУКТУРЫ МНОГОМЕРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИОНАЛОВ ВЫРОЖДЕНИЯ

**Н.А. Дударенко, О.С. Нуйя, Б.З. Терегулов, А.В. Ушаков**

В статье рассматривается проблема оценки эффективности структуры многомерной динамической системы в смысле оценивания производительности системы в процессе реконфигурации ее структуры. Задача решается с помощью функционалов вырождения, сконструированных на спектре сингулярных чисел критериальной матрицы системы. В качестве примера рассматривается многомерная система типа четверной сосуд при внешнем гармоническом входном воздействии.

Ключевые слова: Функционал вырождения, критериальная матрица, четверной сосуд, глобальный функционал

### Введение. Постановка задачи

Производственные комплексы представляют собой сложный технологический процесс, модельное представление которого описывается системами высокой размерности типа многомерный вход-многомерный выход. Такие системы, как правило, характеризуются большим количеством переменных, а также высокой степенью их взаимодействия между собой. Эти взаимодействия являются следствием физической конструкции системы и дополнительных связей, образующихся в процессе формирования системы управления. Одним из ключевых направлений современной теории управления является исследование многомерных динамических систем с целью уменьшения взаимного влияния сепаратных каналов системы друг на друга [1,2]. Решение этой проблемы требует глубокого анализа структуры системы с последующим

синтезом в ней корректирующих связей. Однако, введение дополнительных связей в систему может привести как к увеличению, так и к потере ее производительности, поэтому на этапе проектирования важно отслеживать насколько вводимые корректирующие элементы оказывают влияние на производительность системы в целом. Решению данной задачи и посвящена данная статья.

Поставленная задача решается с помощью аппарата функционалов вырождения, сконструированных на спектре сингулярных чисел критериальной матрицы системы [3]. Функционал вырождения вычисляется как для системы с исходной структурой, так и для системы с учетом корректирующих элементов. В свою очередь, оценка потери производительности системы определяется как разность этих функционалов вырождения.

В отличие от метода относительных усилений и частотных методов [1,4,5], предлагаемый подход позволяет рассматривать все каналы многомерной динамической системы одновременно.

### Функционал вырождения и его свойства

Пусть многомерная динамическая система сведена путем векторно-матричных преобразований к линейной алгебраической задаче (ЛАЗ) вида:

$$\eta(w) = N(w, \theta) \chi(w), \quad (1)$$

где  $N(w, \theta)$  –  $m \times m$  – матрица для любых  $w$ ,  $\theta$ ;  $\eta(w)$ ,  $\chi(w)$  –  $p$ -мерные векторы;  $\theta$  –  $p$ -мерный параметр, изменяющий алгебраические свойства матрицы  $N$ .

Для контроля вырождения воспользуемся аппаратом функционалов вырождения  $J_{D\nu}$  [3], которые строятся на спектре сингулярных чисел  $\alpha_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) матрицы  $N$ , таких что

$$\sigma_\alpha \{N\} = \left\{ \alpha_j = \left| \mu_j^{1/2} \right| : \mu_i : \det(\mu I - N^T N) = 0 : j = \overline{1, m} \right\} \quad (2)$$

и удовлетворяют соотношению

$$J_{D\nu} = \alpha_\nu / \alpha_1; \nu = \overline{m, 1}. \quad (3)$$

Функционалы вырождения обладают следующими свойствами [3].

*Свойство 1.* Функционалы вырождения  $J_{D\nu}$  для всех  $\nu$  в силу (3) удовлетворяют неравенствам

$$0 \leq J_{D\nu} \leq 1. \quad (4)$$

*Свойство 2.* Умножение критериальной матрицы  $N$  на скаляр в непараметризованной или параметризованной форме ( $\gamma$  или  $\gamma(\rho)$ ) не меняет спектра ее функционалов вырождения.

*Свойство 3.* Умножение критериальной матрицы  $N$  на ортогональную матрицу слева или справа не меняет ее функционалов вырождения.

*Свойство 4.* Глобальный функционал вырождения критериальной матрицы  $N$  совпадает с глобальным функционалом вырождения ее инверсии  $N^{-1}$ . Данное свойство опирается на свойство числа обусловленности, которое в случае использования спектральных норм критериальной матрицы, является величиной обратной глобальному функционалу вырождения.

*Свойство 5.* Глобальный функционал вырождениям  $J_G$  прямой матрицы  $N$  и обратной ей  $N^{-1}$  совпадают, то есть выполняется соотношение

$$J_G(N) = J_G(N^{-1}). \quad (5)$$

Спектр сингулярных чисел и сконструированный на нем спектр функционалов системного вырождения матрицы  $N$ , указывают механизм численного контроля процесса вырождения при вариации параметра  $\theta$  с помощью контроля функционалов вырождения.

Таким образом, процесс вырождения алгебраической задачи можно отслеживать по последовательному обнулению функционалов вырождения  $J_{D_V}$  матрицы  $N(w, \theta)$ , которую будем именовать критериальной.

### Формирование критериальной матрицы многомерной динамической системы при векторном гармоническом воздействии

Формирование критериальной матрицы будем осуществлять на примере многомерной непрерывной динамической системы вида

$$\dot{x}(t) = Fx(t) + Gg(t), \quad x(0); \quad y(t) = Cx(t), \quad (6)$$

где  $x, g, y$  – векторы состояния, задающего воздействия и выхода соответственно;  $x \in R^n, g, y \in R^n$ ;  $F, G, C$  – матрицы состояния системы, входа и выхода непрерывного объекта управления соответственно, согласованные по размерности с размерностью векторов  $x, g$ , и  $y$  так, что  $F \in R^{n \times n}, G, C^T \in R^{n \times m}$ .

Рассмотрим поведение системы (6) при векторном гармоническом воздействии. Источник внешнего конечномерного воздействия зададим в форме автономной непрерывной системы, характеризующейся минимальной размерностью и имеющей представление

$$\dot{z}(t) = Ez(t), \quad z(0); \quad g(t) = Pz(t), \quad (7)$$

где  $z \in R^l, E \in R^{l \times l}, P \in R^{m \times l}$ ;  $z$  – вектор состояния модели задающего воздействия,  $E, P$  – матрицы состояния и выхода модели задающего воздействия соответственно, причем матрица  $P$  удовлетворяет условию:  $PP^T = I$ , где  $I$  – единичная матрица размерности  $m \times m$ .

Модель задающего воздействия выбирается минимальной размерности, но такой, чтобы ее выход

$$g(t) = Pz(t), \quad \text{где } z(t) = e^{Et}z(0) \quad (8)$$

на множестве начальных состояний  $z(0)$  адекватно представлял весь класс конечномерных задающих воздействий системы (6).

Для цели дальнейших исследований сформулируем следующие утверждения [6].

*Утверждение 1.* Решение системы (6) для переменных состояния  $x(t)$  и выхода  $y(t)$  для случая задающего воздействия  $g(t)$  вида (8) может быть записано в форме:

$$x(t) = e^{Ft}x(0) + [Te^{Et} - e^{Ft}T]z(0), \quad (9)$$

$$y(t) = Ce^{Ft}x(0) + C[Te^{Et} - e^{Ft}T]z(0), \quad (10)$$

где матрица  $T$  ищется из решения матричного уравнения Сильвестра [7]

$$TE - FT = GP. \quad (11) \quad \square$$

Доказательство утверждения можно найти в работе [8]. ■

Ограничимся в решениях (9) и (10) вынужденными составляющими движения, которые имеют представления:

$$x(t) = [Te^{Et} - e^{Ft}T]z(0), \quad (12)$$

$$y(t) = C[Te^{Et} - e^{Ft}T]z(0) \quad (13)$$

Для раскрытия содержания использованного приема оказывается полезным следующее утверждение.

*Утверждение 2.* Матрица  $T$  решения уравнения Сильвестра (11) представляет собой матрицу подобия (в общем случае особого), которое связывает установившуюся составляющую вектора  $x(t)$  и вектора  $z(t)$  векторно-матричным соотношением

$$x(t) = Tz(t). \quad (14) \quad \square$$

Доказательство утверждения использует соотношение (12), которое в установившемся режиме в случае гурвицевости матрицы  $F$  принимает вид

$$x(t) = Te^{Et}z(0). \quad (15)$$

Подстановка в (15) второго соотношения (8) приводит к (14). ■

Нетрудно видеть, что (12), (13) сводят задачу исследования установившихся процессов в многомерной динамической системе (6) к линейной алгебраической задаче (1), где вектор  $\eta(w)$  принимает смысл вектора  $y(t)$ , матрица  $N(w, \theta)$  принимает смысл матрицы  $CTe^{Et}$ , вектор  $\chi(w)$  принимает смысл вектора  $z(0)$ , переменная  $w$  является непрерывным временем  $t$ , а параметр  $\theta$ , осуществляющий модификацию матрицы  $N$ , задается композицией параметров матриц  $E$  и  $F$ .

С целью конструирования критериальной матрицы многомерной динамической системы при гармоническом воздействии сформулируем следующие утверждения.

*Утверждение 3.* Для случая многочастотного гармонического задающего воздействия  $g(t)$  описание движения системы (6) по выходу  $y(t)$  в установившемся режиме сводится к линейной алгебраической задаче вида (1), записываемой в форме

$$y(t) = N_y(t, \Omega)z(0), \quad (16)$$

где

$$N_y = CTdiag \left\{ e^{E_j t} = \begin{bmatrix} \cos \omega_j t & \sin \omega_j t \\ -\sin \omega_j t & \cos \omega_j t \end{bmatrix}; j = \overline{1, m} \right\}, \quad (17)$$

$$\Omega = col(\omega_j, j = \overline{1, m}), \quad (18)$$

а матрица  $T$  удовлетворяет уравнению Сильвестра (11). □

Доказательство утверждения опирается на соотношения (12), (13) для установившегося движения, а также на прямое вычисление в них матричной экспоненты  $e^{Et}$  для матрицы состояния  $E$  модели задающих воздействий (7), записываемой в случае многочастотного гармонического воздействия в форме

$$E = diag \left\{ E_{jj} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_j \\ -\omega_j & 0 \end{bmatrix}; j = \overline{1, m} \right\}, \quad (19)$$

$$P = I \otimes [1 \ 0],$$

так что  $e^{E_j t} = \begin{bmatrix} \cos \omega_j t & \sin \omega_j t \\ -\sin \omega_j t & \cos \omega_j t \end{bmatrix}; j = \overline{1, m}$ . ■

*Утверждение 4.* Сепаратные числа обусловленности с индексом  $j$  матрицы отношения вход-выход  $N_y(\Omega)$  при многочастотном векторном задающем воздействии в установившемся режиме являются стационарными по времени и задаются соотношением

$$C_j \{N_y(t, \Omega)\} = C_j \{N_y(\Omega)\}; \quad (20)$$

где  $N_y(\Omega) = CT(\Omega)$ . (21) □

Доказательство утверждения использует определение сепаратных чисел обусловленности с индексом  $j$  и свойство сингулярных чисел не менять своего значения при умножении произвольной матрицы слева или справа на ортогональную матрицу. Доказательство можно найти в работе [3]. ■

Поставленная задача приобретает конструктивное решение, если воспользоваться явным решением для матрицы  $T$  уравнения Сильвестра (11). Для случая многомерного гармонического воздействия частоты  $\omega_j$  матрица  $T$  приобретет вид [3]:

$$T(\Omega) = \text{row} \left\{ -[F^2 + \omega_j^2 I]^{-1} [F \quad \omega_j I] G_j \right\}, \quad (22)$$

где  $\Omega = \text{col} \left\{ \omega_j = \omega \gamma_j, j = \overline{1, m} \right\}$ ,  $\gamma_j$  –  $j$ -ый компонент вектора  $\gamma$  распределения частот многочастотного гармонического задающего воздействия по входам системы,  $0 \leq \gamma_j \leq 1$ , который фиксирован во всем диапазоне частоты  $0 \leq \omega \leq \infty$ .

### Алгоритм оценки потери производительности многомерной системы

1. Построить модельные представления исходной и скорректированной многомерной динамической системы в форме (6).
2. Задать модельное описание внешнего гармонического воздействия в виде (7).
3. Сформировать критериальные матрицы исходной и скорректированной системы на основе соотношений (21), (22).
4. Для критериальных матриц вычислить функционалы вырождения в соответствие с выражением (3) на заданном спектре частот.
5. Вычислить отклонение функционалов вырождения скорректированной системы от функционалов вырождения исходной системы на заданном спектре частот.
6. Оценить уровень отклонения функционалов вырождения на предмет удовлетворения допустимому значению.

### Пример

Для иллюстрации предложенного подхода получим оценку эффективности структуры многомерной динамической системы на примере системы двумерный вход-двумерный выход типа четверной сосуд (рис.1).

Передаточная функция такой системы имеет вид [1]:

$$W = \begin{bmatrix} \frac{3.7\gamma_1}{62s+1} & \frac{3.7(1-\gamma_2)}{(23s+1)(62s+1)} \\ \frac{4.7(1-\gamma_1)}{(30s+1)(90s+1)} & \frac{4.7\gamma_2}{90s+1} \end{bmatrix},$$

где  $\gamma_1$  и  $(1-\gamma_1)$  представляют собой пропорцию потоков от насосов 1, которые идут в резервуар 1 и 4 соответственно. Аналогично и для  $\gamma_2$  и  $(1-\gamma_2)$ .

Зададим параметры исходной системы такими, что  $\gamma_1 = 0.7$ ,  $\gamma_2 = 0.6$ . Предположим, что в систему введены корректирующие звенья, приводящие к изменению параметров системы  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  так, что они принимают следующие значения:  $\gamma_1 = 0.4$ ,  $\gamma_2 = 0.3$ .

Будем исследовать заданную систему при внешнем гармоническом воздействии. Действуя согласно приведенному в статье алгоритму, получим оценку реконфигурации структуры системы в виде кривых функционалов вырождения (рис. 2). Результаты моделирования показывают, что в процессе реконфигурации структуры происходит потеря производительности системы на 8,3%.

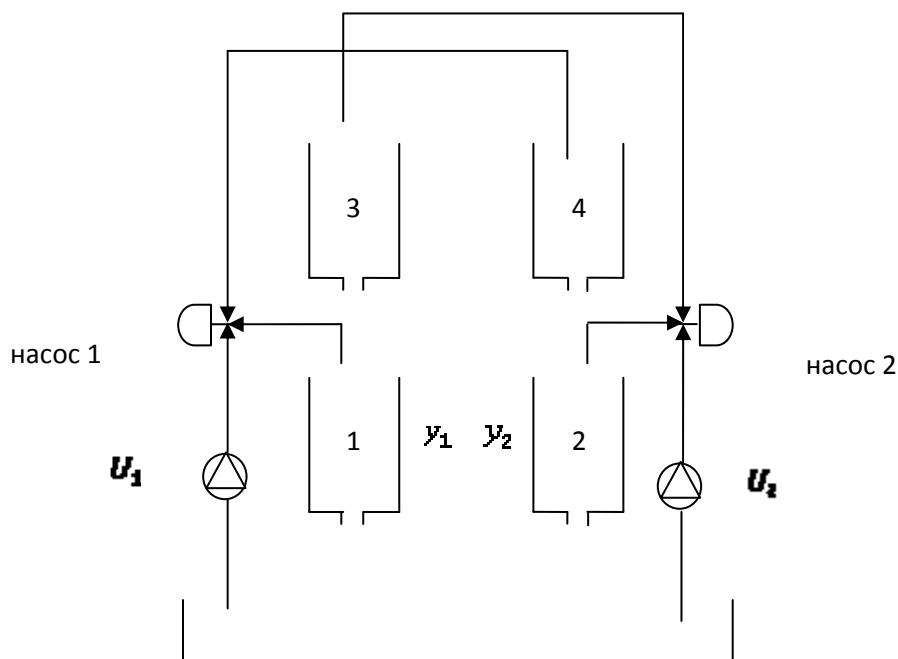


Рис. 1. Графическая модель четверного сосуда

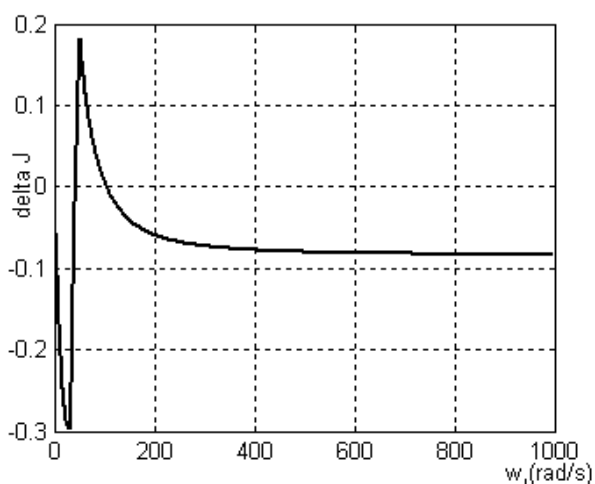


Рис. 2. Кривая разности функционалов вырождения исходной и скорректированной систем

### Заключение

Аппарат функционалов вырождения позволяет рассматривать все каналы многомерной динамической системы целиком, что дает возможность получить численную оценку потери производительности многомерной динамической системы в случае реконфигурации структуры исходной системы.

### Литература

1. Гудвин Г.К., С.Ф. Греббе, М.Э. Сальгадо. Проектирование систем управления. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911с.
2. Головачев Е.В. Чуканов С.Н. Оценивание взаимодействия каналов систем управления, инвариантное к преобразованию вектора состояния// Математические структуры и моделирование. – 2006. – вып. 16. – С. 45–50.
3. Дударенко Н., Ушаков А. Анализ многоканальных динамических систем: технология контроля вырождения.– Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2011. – 232с.
4. Ali Khaki-Sedigh and Bijan Moaveni, Control Configuration Selection for Multivariable Plants, Lecture Notes in Control and Information Sciences. Springer, 2009.
5. E.H. Bristol. On a new measure of interaction for multivariable process control // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1966. – vol. 11. – pp. 133–134.
6. Дударенко Н.А., Ушаков А.В. Матричный формализм задачи контроля вырождения сложных непрерывных динамических систем при конечномерных экзогенных воздействиях// Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». – 2011. – №3. – С.93-101.
7. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления./ Пер. с англ. М.: Мир, 1999.
8. Икрамов Х. Д. Численное решение матричных уравнений./ Под ред. Д. К. Фадеева. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. – 1984.

УДК 654.924

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХРАННЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ ПРИ ПАССИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НАРУШИТЕЛЯ

**В.В. Волхонский, Р.Р. Трапш**

Выполнен анализ потенциальных воздействий на различные структуры средств обнаружения. Выявлены уязвимости структур в условиях применения со стороны нарушителя методов и средств, снижающих возможность его обнаружения. Предложено решение, позволяющее обеспечить высокую вероятность обнаружения и низкий уровень ложных тревог.

**Ключевые слова:** система безопасности, средства обнаружения, угроза, детектор

При разработке и анализе эффективности системы охранной сигнализации одной из основных является задача оценки вероятности обнаружения несанкционированного проникновения (НП). Особенно это существенно, если ставится задача охраны важных объектов, что объясняется возрастанием вероятности применения со стороны нарушителя методов и средств, снижающих возможность его обнаружения. В работе [1] рассмотрены и проанализированы потенциальные воздействия на датчики охранной сигнализации со стороны квалифицированного нарушителя и даны общие рекомендации по построению структуры средств обнаружения (СО) на объекте. Однако в ней не рассматриваются вопросы количественной оценки эффективности различных структур СО. В работе [2] рассматриваются вопросы количественной оценки вероятности обнаружения пассивного инфракрасного (ПИК) датчика при различных направлениях движения нарушителя, но без привязки к структуре СО на объекте. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть влияние возможных воздействий на датчики охранной сигнализации и различные варианты структур средств обнаружения, инвариантные в той или иной степени к этим воздействиям.

Проанализируем различные варианты самих СО, включающие одиночные датчики, функционирующие независимо друг от друга, т.е. использующие алгоритм принятия решения «ИЛИ» и комбинированные с принятием решения по правилу «И».



В качестве критериев оценки эффективности рассматриваемых структур СО будем использовать предложенный в работе [1] критерий несовместности эффективных воздействий на СО

$$\bigcup_{n \in N} S_n^{j\dot{o}\dot{o}} \cdot \bigcap_{l \in L} S_l^{k\dot{y}\dot{o}\dot{o}} = \emptyset, \forall j, k \in J^{\dot{y}\dot{o}\dot{o}}. \quad (1)$$

При этом в общем виде совокупность воздействий  $S_i^{j\dot{y}\dot{o}\dot{o}}$  включает в себя  $N$  возможных факторов воздействия  $E^j = [E_1^j, E_2^j, \dots, E_N^j]$ , определяющих окружающие условия (ОУ); множество  $B^j = [B_1^j, B_2^j, \dots, B_M^j]$  из  $M$  возможных пассивных способов воздействия (ПВ)  $B_m^j$  на  $j$ -е средство обнаружения и совокупность  $L$  активных способов воздействия  $A^j = [A_1^j, A_2^j, \dots, A_L^j]$  на  $j$ -е СО (АВ). Ограничимся случаем влияния первых двух факторов – окружающей среды  $E^j = [E_1^j, E_2^j, \dots, E_N^j]$  и пассивных воздействий нарушителя  $B^j = [B_1^j, B_2^j, \dots, B_M^j]$ .

#### *Одиночные датчики, неперекрывающиеся ЗО*

Как показано в [2], при использовании одиночного детектора, умышленное перемещение нарушителя в радиальном направлении (рис. 1, а), может приводить к существенному уменьшению вероятности обнаружения. Аналогичный эффект будет иметь место и при применении нарушителем другого приема – плотной теплоизолирующей одежды. Учитывая принцип действия доплеровских, в частности, радиоволновых (РВ) датчиков [3], можно говорить об уменьшении вероятности обнаружения при тангенциальном направлении движения (рис. 1, б). Т.е. достаточно просто найти уязвимое место типичных тиров СО и использовать его для преодоления системы охранной сигнализации.

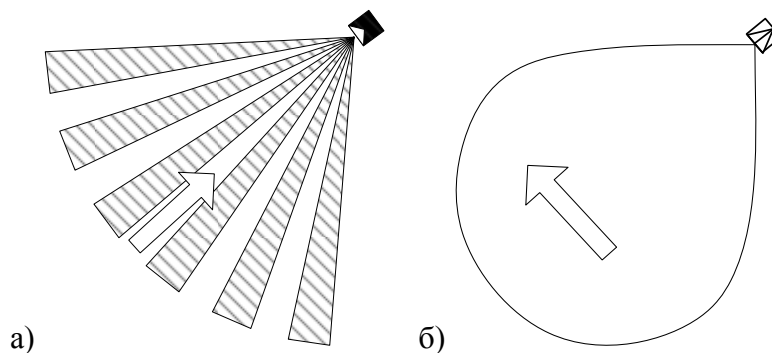


Рис. 1. Радиальное движение нарушителя относительно ПИК датчика ( а); тангенциальное движение относительно РВ датчика ( б)

#### *Одиночные комбинированные (схема «И»)*

Как известно, необходимость применения комбинированных устройств обнаружения вызвана требованием достижения высокой вероятности обнаружения при сохранении низкого уровня ложных тревог. Это достигается использованием двух каналов обнаружения с совмещением их зон обнаружения (рис. 2) и принятием решения по алгоритму «И», что позволяет повысить чувствительность обоих каналов обнаружения и, следовательно, увеличить вероятность обнаружения.

Рост вероятности ложной тревоги при этом компенсируется использованием правила «И» и правильным выбором принципов действия каналов, основанным на приведенном выше критерии несовместности. В данном случае это будет частный случай выражения (1) с учетом только окружающих условий

$$\bigcup_{n \in N} E_n^j \cdot \bigcap_{l \in L} E_l^k = \emptyset, j \in J, k \in K \quad (2)$$

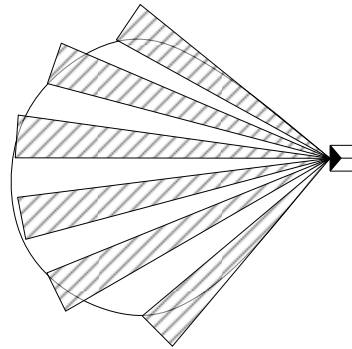


Рис. 2. Зоны обнаружения каналов комбинированного детектора

Учтем теперь и пассивные воздействия нарушителя. Суммарная вероятность обнаружения комбинированного детектора без ПВ будет равна  $P_{\Sigma}^{''e''} = P_1^{''e''} \cdot P_2^{''e''}$ , где  $P_1^{''e''}$  и  $P_2^{''e''}$  – вероятности обнаружения каждого из каналов. С учетом возможного ПВ получим  $\tilde{P}_{\Sigma}^{''e''} = \tilde{P}_1^{''e''} \cdot \tilde{P}_2^{''e''}$ , где  $\tilde{P}_1^{''e''} = aP_1^{''e''}$  – уменьшенная за счет воздействия нарушителя вероятность обнаружения первого канала, а  $\tilde{P}_2^{''e''}$  – вероятность обнаружения второго канала, которую необходимо увеличить на столько, чтобы сохранить исходное значение суммарной вероятности  $P_{\Sigma}^{''e''}$ , т.е.  $P_1^{''e''} \cdot P_2^{''e''} = aP_1^{''e''} \cdot \tilde{P}_2^{''e''}$ . После сокращения искомое выражение примет вид  $\tilde{P}_2^{''e''} = \frac{P_2^{''e''}}{a}$ .

На рис. 3 приведены зависимости значений  $\tilde{P}_2^{''e''}$  от относительного уменьшения вероятности обнаружения первого канала.

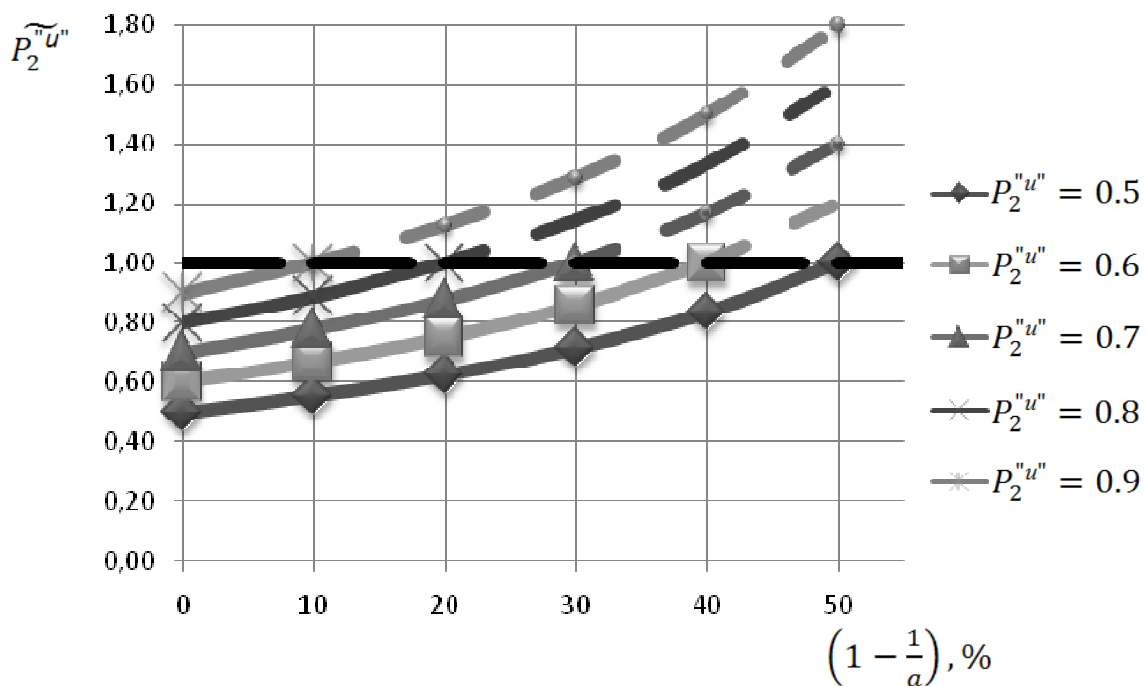


Рис. 3. Характер влияния ПВ на  $\tilde{P}_2^{''e''}$

Как видно из графика, при близких к единице значениях  $P_1^{''e''}$  даже незначительное снижение вероятности обнаружения первого канала требует максимально достижимого

значения  $\tilde{P}_2^{e''}$ . При большем снижении общую вероятность обнаружения комбинированного детектора невозможно полностью компенсировать и воздействие нарушителя будет эффективным (рис. 4).

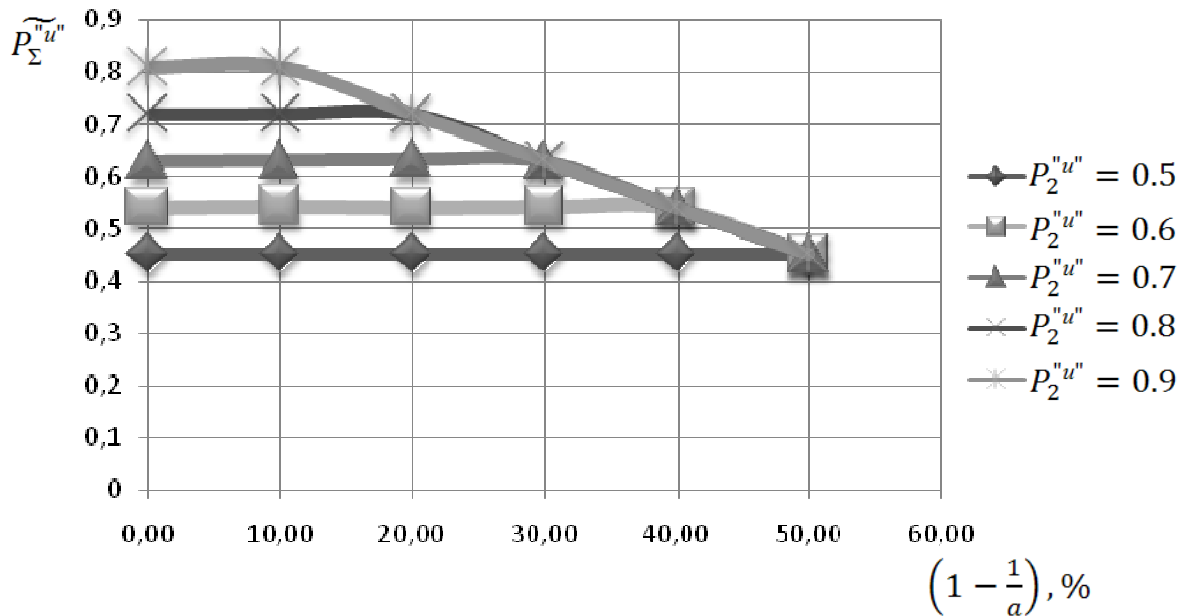


Рис. 4. Ограничение возможности компенсации падения  $\tilde{P}_\Sigma^{e''}$

Оценим возможности увеличения вероятности обнаружения комбинированных датчиков при подобных приемах нарушителя другими средствами. При этом необходимо иметь ввиду, что кроме высокой вероятности обнаружения, необходимо обеспечить также и требуемый низкий уровень вероятности ложных тревог.

В рассматриваемом случае комбинированного детектора (рис. 2), например, при использовании РВ и ПИК каналов обнаружения, каждому из каналов будут присущи проблемы упомянутые выше. Вероятность обнаружения первым каналом будет снижена при тангенциальном движении нарушителя (рис. 1, б), а в радиальном направлении имеет максимальную вероятность обнаружения. Для второго канала (рис. 1, а) будет иметь место уменьшение вероятности обнаружения при радиальном направлении, а в тангенциальном вероятность будет наибольшей. Таким образом, возможно, что нарушитель будет выбирать направление движения (и использовать дополнительно другие приемы), уменьшающее вероятность обнаружения только одного из каналов. А поскольку, как показано выше, вероятность обнаружения датчика в целом  $P_\Sigma^{e''}$  будет меньше наименьшей из вероятностей обнаружения каждого из каналов, то и вероятность пропуска цели будет велика.

#### *Одиночные совмещенные детекторы с перекрывающимися ЗО*

Рассмотрим два одиночных РВ и ПИК детекторов, работающих по алгоритму «ИЛИ», т.е. с принятием решения каждым устройством независимо. В общем случае возможны два варианта расположения таких устройств с перекрытием ЗО. Во-первых, в одном месте объекта и, во-вторых, в разных местах.

В первом случае (рис. 5) в радиальном направлении движения максимальную вероятность обнаружения будет иметь РВ датчик, а в тангенциальном – ПИК датчик. Очевидно, что эффективность такой структуры мала с точки зрения достаточно высокого значения вероятности ложной тревоги [3].

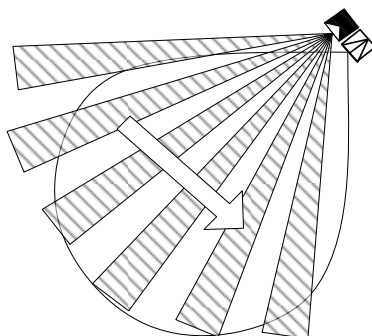


Рис. 5. ZO совмещенных детекторов

*Одиночные разнесенные детекторы с перекрывающимися ZO*

В случае расположения детекторов в разных местах (рис. 6) будет направление движения НП, одинаково эффективно обнаруживаемое обоими датчиками. Но также будет и направление (радиальное для ПИК и тангенциальное для РВ датчика), при движении нарушителя в котором вероятность обнаружения будет мала. Т.е. будет иметь место уязвимость такой структуры СО.

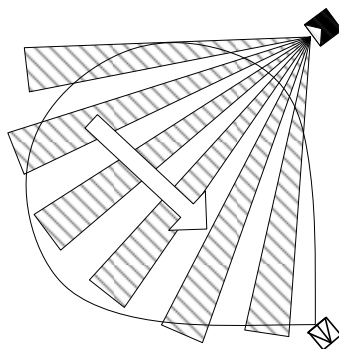


Рис. 6. ZO разнесенных детекторов

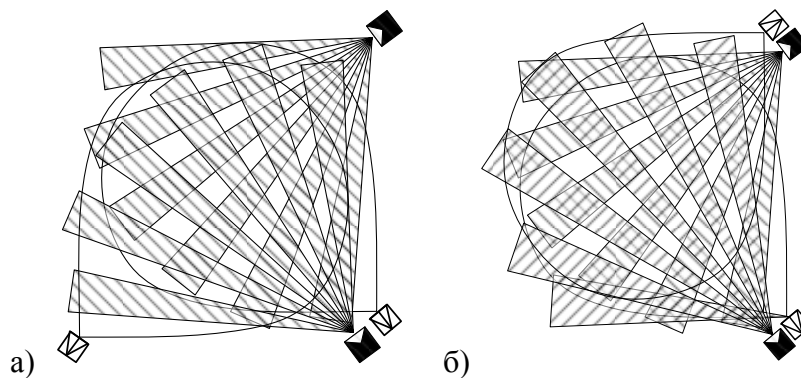


Рис. 7. ZO пар разнесенных детекторов

Добиться уменьшения вероятности ложных тревог при этом можно используя традиционный алгоритм «И» совместного принятия решения, аналогичный используемому в комбинированных детекторах. В этом случае решение об обнаружении должно приниматься при одновременном обнаружении НП обоими устройствами.

*Пары разнесенных детекторов с перекрывающимися ZO*

Снижения вероятности обнаружения при движении нарушителя в произвольном направлении можно избежать, используя две пары детекторов, как на рис. 5, которые дополнительно развернуты по отношению друг к другу на  $90^{\circ}$  (рис. 7, а) или две пары совмещенных детекторов с таким же угловым смещением осей диаграмм

направленности (рис. 7, б). Это позволит эффективно обнаружить нарушителя при движении во всех направлениях. А использование алгоритма «И» для устройств каждой пары позволит сохранить низкую вероятность ложной тревоги.

### Заключение

В заключении формулируем полученные в работе результаты.

1. Принимая упомянутое выше, можно сделать вывод о сравнительно низкой эффективности используемых в настоящее время структур средств обнаружения в случае профессиональных способов проникновения на охраняемый объект.
2. Для достижения высокой вероятности обнаружения нарушителя, двигающегося в одном направлении, предлагается использовать пары отдельных разнесенных детекторов разного принципа действия с совмещенными ЗО, оси которых перпендикулярны.
3. Для достижения высокой вероятности обнаружения нарушителя, двигающегося в произвольном направлении, предлагается использовать две пары отдельных разнесенных или совмещенных детекторов с угловым смещением  $90^0$  осей диаграмм направленности относительно друг друга.

### Литература

1. Волхонский В.В., Крупнов А.Г. Особенности разработки структуры средств обнаружения угроз охраняемому объекту // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – № 4(74). – С. 131-136.
2. Волхонский В.В., Воробьев П.А. Методика оценки вероятности обнаружения несанкционированного проникновения оптоэлектронным извещателем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 1(77). – С. 120-123.
3. Волхонский В.В. Извещатели охранной сигнализации. Изд. 4-е доп. и перераб. – СПб.: Экополис и культура. – 2004. – 272 с.

УДК 004.056.55

## МЕТОДЫ ВСТРАИВАНИЯ ЗАШИФРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ФОРМАТОВ СЖАТИЯ С ПОТЕРЯМИ ДЛЯ СКРЫТОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ДЛЯ ЗАЩИТЫ АВТОРСКИХ ПРАВ

Т.С. Трегулов

В статье рассматриваются методы встраивания скрытой информации в цифровые изображения популярных форматов JPEG и JPEG 2000, в которых происходит сжатие с потерями. Подробно будут описаны три метода, два из которых будут стойки к сжатию JPEG, но при этом они используют разные области для встраивания и один к сжатию JPEG 2000. Будут рассмотрены их характеристики.

Ключевые слова: стеганография, информация, шифрование, JPEG, JPEG 2000

### Введение

При современном уровне развития компьютерных технологий весьма актуальными являются проблемы скрытой передачи данных в компьютерных сетях и защита авторских прав на мультимедиа информацию. В решении подобных проблем может помочь стеганография. Ее задачей является скрытая передача данных путем сохранения в тайне самого факта передачи. Цифровая стеганография основывается на сокрытии или внедрении дополнительной информации в цифровые объекты, вызывая

при этом некоторые искажения этих объектов. Цифровые изображения могут выступать отличным контейнером для внедрения в них скрытой информации. Это обусловлено фактом некоторой избыточности визуальной информации. Изображение со встроенной секретной информацией можно разместить в определенном месте в компьютерной сети, которое будет известно получателю. Зная ключ, он сможет расшифровать сообщение. Таким образом, можно наладить скрытый канал передачи данных. Или можно перед выкладыванием в открытые источники вложить в свои изображения специальную метку – цифровой водяной знак, который точно идентифицирует автора файла и будет использоваться с целью защиты его авторских прав.

Многие из существующих стандартных алгоритмов внедрения информации в изображение не могут работать с такими популярными форматами, как JPEG и JPEG 2000. Эти форматы являются форматами сжатия с потерями. Распакованные данные будут отличаться от исходных, и поэтому многие внедряемые сообщения попросту невозможно извлечь, таким образом, теряется смысл системы. В статье будут рассмотрены методы внедрения информации в изображения, при которых информация будет стойка к определенному сжатию с потерями. Будут показаны особенности применимости методов для конкретной ситуации.

### Организация стегосистемы

Для внедрения скрытого сообщения в изображение нужно создать стеганографическую систему, которая будет заниматься шифрованием сообщения, встраиванием его в контейнер, считыванием назад сообщения и дешифрованием его. Одним из главных требований для стегосистемы является то, что внедрение информации в цифровое изображение должно осуществляться исходя из условия обеспечения максимально возможной скрытности внедрения. Процесс внедрения информации должен учитывать свойства системы восприятия человека [1]. Схема стегосистемы представлена на рис. 1.

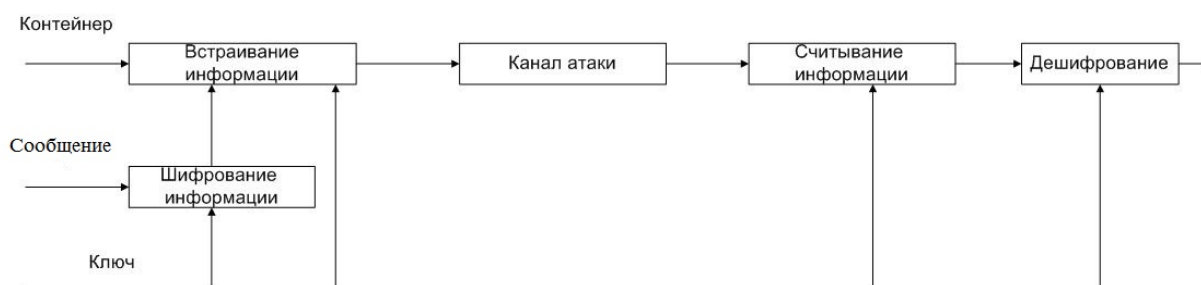


Рис. 1. Стегосистема встраивания и считывания информации

Сообщение перед встраиванием подвергается криптографическому кодированию с использованием ключа для повышения секретности встраивания. Стеганографическая система должна уметь определять пропускную способность стегоконтейнера, то есть максимальное количество информации, которое может быть вложена в него, при условии обеспечения максимально возможной скрытности внедрения и безошибочной передачи получателю. Также нужно учитывать возможные атаки на внедренную информацию, когда изображение будет выложено в открытых источниках, особенно если мы имеем дело с системой внедрения цифровых водяных знаков для защиты авторских прав. Такими атаками могут являться сжатие по определенному алгоритму, обрезание краев, масштабирование, аффинные преобразования. Стегосистему нужно

проектировать таким образом, чтобы встроенная информация была стойка как можно к большим видам атак.

Наиболее популярным методом встраивания информации в изображения является встраивание в наименее значимые биты. Младшие разряды содержат очень мало полезной информации. Их заполнение дополнительной информацией практически не влияет на качество восприятия изображения человеческим глазом, что и дает возможность скрытия в цифровом изображении нужной нам информации. Достоинством его является простота и сравнительно большой объем встраиваемых данных. Существует много его модификаций, но на данный момент он устарел, и не стоит его использовать, так как злоумышленник легко может обнаружить сообщение и уничтожить его. В наше время намного лучше встраивать сообщения в наиболее существенные области изображений, разрушение которых приведет к полной деградации самого изображения [2].

Для организации скрытого канала передачи данных в компьютерной сети или для маркировки коммерческой продукции цифровыми водяными знаками нужно предусмотреть такой момент, что в сетях обычно выкладываются цифровые изображения, которые проходят сжатие по определенному алгоритму с целью уменьшения объема. Обычно применяется сжатие с потерями, при использовании которого распакованные данные отличаются от исходных, но степень отличия не является существенной с точки зрения их дальнейшего использования. Поэтому нужно предусмотреть, чтобы встраиваемая информация была стойка к такому сжатию. В компьютерных сетях наиболее популярным форматом изображений является JPEG – формат, в котором для уменьшения объема информации для хранения точек используются зависимости, корреляции между близко расположенными друг к другу областями изображения. Изображение делится на блоки  $8 \times 8$  пикселей, затем для каждого блока  $8 \times 8$  применяется дискретное косинусное преобразование (ДКП). Но наиболее актуальным форматом цифровых изображений является JPEG 2000, который тоже является форматом сжатия с потерями. Он превосходит JPEG по степени сжатия и для сжатия использует технологию вейвлет-преобразования, при которой изображение получается более гладким и четким. Далее будут рассмотрены 2 метода встраивания в различные области изображения, при которых внедренная информация будет стойка к JPEG сжатию, и один метод для JPEG 2000.

### Метод для встраивания в пространственную область

При внедрении информации в пространственную область изображения используются для встраивания сообщения непосредственные изменения значений параметров яркости и цветности. Сообщение будет представлять строку бит. При встраивании будем манипулировать яркостью пикселей в блоках  $8 \times 8$  [3]. Будем использовать случайный выбор области. Создаем псевдослучайную маску нулей и единиц размера  $8 \times 8$ , который будем использовать для встраивания  $pat(x, y) \in \{0, 1\}$ . Далее каждый блок  $B$  делится на два множества  $B_0$  и  $B_1$ , в зависимости от значения маски. Для каждого множества вычисляется среднее значение яркости,  $l_0$  и  $l_1$ . Далее выбирается некоторый порог  $\alpha$ , и бит ЦВЗ встраивается следующим образом:

$$s = \begin{cases} 1, & l_0 - l_1 > +\alpha, \\ 0, & l_0 - l_1 < -\alpha. \end{cases}$$

Если условие не выполняется, мы изменяем значение яркости пикселей множества  $B_1$ . При сжатии изображение преобразуется из цветового пространства RGB

(интенсивности цветов красного, зеленого и синего) в YUV (яркость и две цветоразностных). Если будем встраивать в яркость и цветность, то внедренное сообщение не будет стойко к JPEG сжатию, при котором к блокам 8x8 элементов изображения применяется дискретное косинусное преобразование (ДКП). Чтобы сделать алгоритм устойчивым к JPEG-сжатию, каждый блок нужно исказить посредством дискретного косинусного преобразования с определенным параметром качества, затем выполнить обратное преобразование, результатом которого будет измененный блок, после этого вычислить новые средние значения яркости для тех же категорий  $l_0$  и  $l_1$  и встраивание бит осуществлять уже из нового дополненного условия.

Для извлечения бита сообщения в декодере вычисляются средние значения яркости подмножеств,  $l_0''$  и  $l_1''$ . Разница между ними позволяет определить искомый бит:

$$s = \begin{cases} 1, & l_0 - l_1 > 0, \\ 0, & l_0 - l_1 < 0. \end{cases}$$

Дополняя условие для встраивания вычислением значений яркости после операции дискретного косинусного преобразования, мы делаем сообщение стойким к JPEG сжатию. Но степень сжатия должна быть низкая, иначе сообщение мы все-таки не сможем извлечь. Для того чтобы наше сообщение было стойко к более высоким степеням сжатия, лучше встраивать его в частотную область. Метод для подобного встраивания будет рассмотрен дальше.

### Метод встраивания в частотную область

Наиболее эффективно встраивать информацию в частотную область изображения, при которой мы будем манипулировать характеристиками изображения в частотном диапазоне, это позволит сообщению быть стойким при более высокой степени JPEG сжатия. Встраивание сообщения будем проводить путем внесения изменений в коэффициенты дискретного косинусного преобразования [4]. Изображение вначале разбивается на блоки размером 8x8 пикселей. ДКП применяется к каждому блоку, в результате чего получаются матрицы коэффициентов ДКП, также размером 8x8. Коэффициенты будем обозначать через  $c_b(j, k)$ , где  $b$  – номер блока,  $(j, k)$  – позиция коэффициента внутри блока. Если блок сканируется в зигзагообразном порядке (как это имеет место в JPEG), то коэффициенты будем обозначать через  $c_{b,j}$ . Коэффициент в левом верхнем углу  $c_b(0,0)$  обычно называется DC-коэффициентом. Он содержит информацию о яркости всего блока. Остальные коэффициенты называются AC-коэффициентами. Псевдослучайно выбираем 2 коэффициента ДКП. Встраивание бита 0 осуществляется из условия, что разность абсолютных значений коэффициентов была бы больше некоторой положительной величины, а для передачи бита 1 эта разность делается меньше некоторой отрицательной величины:

$$\begin{aligned} |c_b(j_{i,j}, k_{i,1})| - |c_b(j_{i,2}, k_{i,2})| &> \varepsilon, & \text{если } s_i = 0, \\ |c_b(j_{i,j}, k_{i,1})| - |c_b(j_{i,2}, k_{i,2})| &< -\varepsilon, & \text{если } s_i = 1. \end{aligned}$$

Для чтения сообщения в декодере выполняется та же процедура выбора коэффициентов, и решение о переданном бите принимается согласно правилу:



$$s_i = 0, \quad \text{если } |c_b(j_{i,j}, k_{i,1})| > |c_b(j_{i,2}, k_{i,2})|,$$

$$s_i = 1, \quad \text{если } |c_b(j_{i,j}, k_{i,1})| < |c_b(j_{i,2}, k_{i,2})|.$$

Для увеличения стойкости к сжатию можно использовать встраивание в три коэффициента ДКП и использовать для встраивания блоки изображения, не являющиеся слишком гладкими, а также не содержащие малого числа контуров. Если нужно вложить 1, коэффициенты изменяются так, чтобы третий коэффициент стал меньше каждого из первых двух; если нужно встроить 0 он делается больше других. Используя такой метод, встроенная информация будет стойка к более высоким степеням сжатия JPEG. Но, чтобы информация была стойка к сжатию JPEG 2000, такое встраивание не подойдет, так как там используется технология вейвлет-преобразований. Далее рассмотрим метод для сжатия JPEG 2000.

### Метод встраивания в коэффициенты вейвлет-преобразования

Сообщение для встраивания будет представлять собой последовательность псевдослучайных действительных чисел, распределенных по гауссовскому закону, которое будет внедряться в выбранное подмножество отсчетов исходного изображения  $f$ . Длина последовательности соответствует размерам детальных поддиапазонов, несмотря на то, что сообщение будет внедряться только в небольшое количество наибольших коэффициентов. Для начала будет проведено трехуровневое вейвлет-преобразование с использованием фильтров Добеши-8. Вейвлет-преобразование основывается на представлении сигнала в виде суперпозиции базовых функций — волновых пакетов. Для встраивания информации отбираются коэффициенты детальных поддиапазонов, амплитуда которых выше некоторого порога  $\tau$ . Выражение для встраивания информации имеет вид:

$$f'(m, n) = f(m, n) + \alpha |f(m, n)| w_i.$$

В выражении  $\alpha$  является весовым коэффициентом, а  $f'$  — модифицированный пиксель изображения. При извлечении информации используется слепой метод обнаружения сообщения, при котором нам не нужно исходное изображение. Рассматриваться будут только коэффициенты, амплитуда которых больше некоторого порога обнаружения  $\tau_2 > \tau_1$ . Считывание будет обратно процессу встраиванию. Детальные поддиапазоны, в которые добавляется водяной знак, содержат информацию об острых гранях и текстурированных поверхностях. Это обеспечивает незаметность внедренных данных, так как человеческий глаз малочувствителен к изменениям на острых гранях и текстурированных поверхностях. Такой метод обеспечит стойкость встроенной информации к JPEG 2000 сжатию.

### Заключение

В статье были рассмотрены три метода для встраивания информации в цифровые изображения. При встраивании сообщения в пространственную область мы сможем обеспечить стойкость внедренной информации только к низким степеням сжатия JPEG, зато при этом нам не нужно будет делать вычислительно сложных математических операций. Для обеспечения стойкости к более высоким степеням сжатия данные лучше встраивать в частотную область. Внедряя же информацию в коэффициенты вейвлет-преобразования, мы сможем добиться стойкости встраиваемого сообщения к сжатию JPEG 2000. При этом нам потребуются вычислительно сложные операции, которые будут занимать большое количество времени. На данный момент исследования,

связанные со встраиванием сообщений в изображения формата JPEG 2000 являются наиболее актуальными.

### Литература

1. Агроновский А.В., Девянин П.Н., Хади Р.А., Черемушкин А.В. Основы компьютерной стеганографии. – М.: Радио и связь, 2003. –152 с.
2. Оков И.Н., Ковалев Р.М. Электронные водяные знаки как средство аутентификации передаваемых сообщений // Защита информации. Конфидент. – 2001. – № 3. – С.80-85.
3. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: МК- Пресс, 2006. – 288 с
4. Грибунин В.Г., Оков И.Н., И. В. Туринцев И.В. Цифровая стеганография–М.: СОЛОН-Пресс, 2002. –272 с.

УДК 004.4

## OPEN SOURCE РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ И ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДИАГРАММ СВЯЗЕЙ

Ю.Д. Трухницкая, И.А. Хахаев

Рассматриваются программы для работы с диаграммами связей и управлением проектами.

**Ключевые слова:** диаграмма связей, freemind, vum, xmind, управление проектами, ganttproject, gnome planner, openworkbench.

### Введение

В современном развивающемся мире информация играет одну из ведущих ролей. Постоянно изменяющиеся данные, планирование действий, стратегии развития, принятие решений – это реалии любой организации, как маленькой фирмы, так и большой управленческой структуры. Для наглядности, автоматизации и отслеживания текущего состояния дел используется специальное программное обеспечение.

Проведем анализ программ двух типов: программы для создания диаграмм связей и программы для планирования проектов. Первый тип программ используется как способ изображения процесса общего системного мышления с помощью схем и как удобная техника альтернативной записи. Второй тип программ, используемый для планирования проектов, предназначен для разработки планов, распределения ресурсов по задачам, отслеживания прогресса и анализа объемов работ.

### Критерии выбора программного обеспечения

Основным критерием выбора программ является наличие лицензии свободного и открытого ПО. Программы с проприетарными и полусвободными лицензиями рассматривать не будем, но учтем в выбираемых программных продуктах возможность импорта и экспорта данных в самые популярные несвободные решения, основными из которых являются Microsoft Project, Open Workbench, Mindmanager.

Выделим дополнительные критерии выбора, на которых будет делаться акцент:

- Программные платформы. Программная платформа – это совокупность дополнительного программного обеспечения, необходимого для правильного и полного функционирования выбираемых продуктов. Выделим поддержку операционных систем – кроссплатформенное ПО, \*nix системы, Windows системы,

Mac OS системы. В дальнейшем будем учитывать поддержку баз данных и систем управления базами данных (PostgreSQL, MySQL, Oracle, Firebird, Interbase, MS SQL Server).

- Пользовательский интерфейс. Отдельное внимание в интерфейсе пользователя уделяется его эффективности и удобству, в данной статье будут рассматриваться программные продукты только с графический интерфейс.
- Богатство функций и форм представления. При рассмотрении функциональных возможностей будем учитывать как основные, так и специфические характеристики программы.
- Внутренний формат данных.
- Форматы импорта и экспорта. Главным вопросом является вопрос совместимости приложений, как для удобного переноса данных между заказчиками/исполнителями (для одного класса программ внутренняя переносимость данных), так и для переноса между приложениями (для разных классов программ обеспечивает более полную или более узконаправленную функциональность).

### Программы для создания диаграмм связей

Существует много программ для создания диаграмм связей. Рассмотрим некоторые из них.

FreeMind [1] – кроссплатформенное приложение, написанное на Java и распространяемое согласно лицензии GNU GPL.

Доступные форматы экспорта:

- веб-страница (HTML и XHTML);
- java – апплет;
- текст Open Office;
- PDF;
- изображение (PNG, JPEG, SVG);
- XSLT;
- Twiki.

На основе сделаны еще несколько специфических реализаций, одна из них SciPlore MindMapping предназначенная в основном для ученых с акцентом работы с PDF и интеграции ведения управления, включая поддержку BibTeX. Другая - Freeplane главной целью ставящая удобство использования.

View Your Mind [2] – приложение, в основном ориентированное на \*nix системы, существует импортированная версия для Windows и не полностью импортированная для Mac OS X. Интерфейс приложения интуитивно понятен и практически не требует изучения.

Доступные форматы экспорта:

- веб-страница (HTML);
- простой текст (txt);
- презентация Open Office – большие куски текста не помещаются, но простые слайды с маркированными списками получаются хорошо;
- LaTeX и CSV.

VYM может импортировать документы своего свободного аналога Freemind, а также коммерческого приложения Mindmanager.

Xmind [3] – кроссплатформенное приложение, поддерживающее интеллектуальные карты, диаграммы Исикавы, древовидные диаграммы, логические диаграммы, таблицы. Существует две версии программы - OpenSource и Pro. Версия Pro проприетарная, поэтому ее рассматривать не будем.

Доступные форматы экспорта:

- веб-страница (HTML);
- изображение (PNG, JPEG);
- PDF;
- Word, Powerpoint;
- FreeMind и MindManager.

Из плюсов можно отметить представление информации в виде таблиц, диаграмм и «рыбного скелета», также расширяемая библиотека картинок и маркеров. Следует указать поддержку диаграмм Ганта и добавления задач по приоритетам и времени.

Еще из бесплатных программ для создания диаграмм связей можно упомянуть SAM editor [4], Compendium, Pimki. Существуют также сайты для создания интеллектуальных карт. Но для работы с данными программами надо обладать дополнительными знаниями в специфических областях. Например? в SAM editor для работы с диаграммами связи используется расширяемый язык разметки XML, а не графический интерфейс.

### **Программы для планирования проектов**

Рассмотрим специализированные решения для планирования проектов.

GanttProject [5] – бесплатная кроссплатформенная программа для управления проектами в диаграмме Ганта и диаграмме типа PERT. Исходные тексты доступны под лицензией GNU GPL, поддерживается работа на Windows, Linux и MacOSX. Проект представляет дерево задач, для которых выделяется определенное количество времени и закрепляется исполнитель. Между задачами устанавливаются связи, для удобства на диаграмму можно вывести координатора, дату, название задачи, назначенные ресурсы. Реализована подсветка занятости человека (обычный человек, завален работой, недорабатывает и отпускные дни) и хода выполнения задач (не изменилось, опережение и запаздывание).

Доступные форматы экспорта:

- веб-страница (HTML);
- изображение (PNG, JPEG);
- простой текст (txt);
- PDF;
- XML;
- MPX из библиотеки MPXJ;
- CSV (с возможностью выбора своего варианта разделителя).

GanttProject поддерживает возможность загрузки и сохранения файла проекта на FTP, что позволяет открывать документ сразу несколькими пользователями, но стоит учитывать, что нет встроенного сервиса для решения коллизий.

Gnome Planner [6] – один из компонентов Gnome Office, предназначенный для управления проектами, задачами, ресурсами, отслеживания ресурсов, контроля при помощи диаграмм Ганта. Довольно прост и удобен. Поддерживается работа на Windows (необходимо установить GTK+) и Linux системах.

Доступные форматы экспорта:

- веб-страница (HTML) – в виде трех разделов: «Представление Ганта», «Задачи» и «Ресурсы»;
- XML.

Отличительной особенностью является возможность настраивать рабочие расписания, или календари, для автоматического расчета длительности заданий исходя из выделенного количества рабочих часов.

OpenWorkbench [7] – написан на Java, но распространяется только для Windows систем. За основу проекта берутся возможности ресурса, помноженные на количество часов, необходимое для решения задачи. Возможны создание зависимостей между задачами проекта и между проектами, автоматическое создание расписания, WBS, диаграммы Ганта, PERT и СРМ, несколько методов отслеживания хода процесса, расчет стоимости. Вывод данных можно изменить в зависимости от характера проекта. В стандартный дистрибутив входит обширная справочная система, а на сайте представлены примеры и руководство пользователя в форматах MS Word и Adobe Acrobat.

Доступные форматы экспорта:

- файл собственного формата (.gmp);
- XML.

OpenWorkbench – очень гибкий и простой в освоении инструмент, но последний релиз датируется декабрем 2005 года.

### Заключение

Все рассмотренные в данной статье программы являются персональными инструментами, однако и для коллективной работы над проектами создано довольно много продуктов. Для работы программ в многопользовательском режиме и через веб-интерфейс на одном из компьютеров сети должны быть установлены база данных и веб-сервер (если нужна поддержка веб-интерфейса). Также стоит учитывать возможность взаимодействия программ, рассчитанных на однопользовательский режим, через FTP, что упрощает задачу отсутствием необходимости поддерживать базу данных и веб-сервер. Если у взаимодействующих сторон установлены разные программные пакеты, или же надо представлять результаты деятельности в разных видах, то следует задуматься о возможности формализации проекта и поиском существующих конверторов.

### Литература

1. FreeMind [Электронный ресурс] (Режим доступа [http://freemind.sourceforge.net/wiki/index.php/Main\\_Page](http://freemind.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page) - свободный) – Загл. с экрана. – Яз. англ.
2. View Your Mind [Электронный ресурс] (Режим доступа <http://www.insilmaril.de/vym/> - свободный) – Загл. с экрана. – Яз. англ.
3. Xmind [Электронный ресурс] (Режим доступа <http://www.xmind.net/> - свободный) – Загл. с экрана. – Яз. англ.
4. CAM editor [Электронный ресурс] (Режим доступа [http://sourceforge.net/apps/mediawiki/camprocessor/index.php?title=Main\\_Page](http://sourceforge.net/apps/mediawiki/camprocessor/index.php?title=Main_Page) - свободный) – Загл. с экрана. – Яз. англ.
5. GanttProject [Электронный ресурс] (Режим доступа <http://www.ganttproject.biz/> - свободный) – Загл. с экрана. – Яз. англ.
6. Gnome Planner [Электронный ресурс] (Режим доступа <http://live.gnome.org/Planner> - свободный) – Загл. с экрана. – Яз. англ.
7. OpenWorkbench [Электронный ресурс] (Режим доступа [http://en.wikipedia.org/wiki/Open\\_Workbench](http://en.wikipedia.org/wiki/Open_Workbench) - свободный) – Загл. с экрана. – Яз. англ.

004.852

## **РАСПОЗНАВАНИЕ ФОРМЫ ФИГУР И ЖЕСТОВ, ВВЕДЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ СЕНСОРНОЙ ПАНЕЛИ**

**В.И. Филатов, А.С. Потапов**

В статье рассматривается решение задачи по распознаванию формы фигур с использованием основных виды сенсорного взаимодействия при работе с мобильными устройствами, использующими систему IOS; к таким устройствам относятся устройства компании Apple. Представляется разработанный алгоритм, основанный на статистическом подходе, по решению задачи распознавания формы фигур квадрат, круг и треугольник. Рассмотренная в статье программа реализована с помощью XCode 3.2 Mac Os X.

**Ключевые слова:** распознавание, iPhone, жест-форма

### **Введение**

Задачу распознавания можно отнести к области искусственного интеллекта, а более точно, к областям компьютерного зрения и машинного обучения.

Существует множество методов для решения задач распознавания различного вида формы, но в каждой конкретной задаче наиболее подходящими будут отдельные решения. Специфической деталью распознавания формы жестов в данном случае является то, что жест рассматривается как результат мультисенсорного взаимодействия пользователя с сенсорным экраном. Вид получившегося мультисенсорного жеста напрямую связан с аккуратностью пользовательского ввода, таким образом, для данной задачи использование корреляционного подхода оценки формы на основе сравнения [1] является неоптимальным. Метод, основанный на нейронных сетях, в котором рассматривается задача построения байесовской сети [2], также не будет в достаточной степени подходящим. Для решения задачи был использован статистический подход как средство оценки формы жеста (фигуры) для случая трех классов: квадрат, круг, треугольник. В результате эксперимента был введен термин «коэффициент подобия», представляющий собой статистическую оценку формы фигуры; второй важной для оценки характеристик является оценка количества углов формы жеста (внутренних углов).

### **Постановка задачи и метод решения**

Задача состояла в написании алгоритма и программы по автоматической оценке формы жеста как одного из трех классов: квадрат, круг, треугольник. Форма жеста, введенная с помощью сенсорной панели, варьируется (зависит от аккуратности пользователя при вводе жеста). В качестве сенсорного устройства был использован эмулятор iPhone и язык программирования Objective C 2.0.

Результат итогового принятия решения в программе был построен на совокупности двух характеристик: определение количества углов и отношение площади объекта к площади описанного вокруг фигуры прямоугольника.

Определение количества углов производилось по следующему алгоритму: по полученному с помощью метода `touchesMoved:withEvent` [3] массиву точек происходило определение количества углов в совокупности с ограничением минимального размера линий, таким образом, удалось избавиться от лишних координатных точек (не влияющих на форму фигуры). Еще одну проблему представляет то, что фигура, полученная сенсорным вводом с помощью эмулятора, обладает большим количеством ложных максимумов контура; за счет определения углов влияние данной проблемы на результат существенно уменьшается. Так как изобразить фигуру с идеально замкнутым контуром с помощью сенсорного ввода достаточно сложно, производилась дополнительная проверка на определение угла между последней и первой точкой контура.

Определение площади фигуры представляло трудность, так как для расчета был получен только массив точек контура фигуры, поэтому решено было воспользоваться определением площади фигуры с помощью координатного метода.

$$K = \frac{S_{\text{фигуры}}}{S_{\text{гр}}}, S_{\text{фигуры}} = \sum_{i=0}^{n-1} f(A_i, A_{i+1}) + f(A_n, A_0).$$

$$f(A_i, A_{i+1}) = (A_{i+1}(y) + A_i(y)) / 2 \cdot ((A_{i+1}(x) - A_i(x)) / 2).$$

Здесь  $K$  – коэффициент подобия,  $S_{\text{гр}}$  – площадь, ограничивающего фигуру прямоугольника. Площадь описанного вокруг фигуры прямоугольника определялась с помощью нахождения крайних координат фигуры по 4 направлениям.

### Основные результаты

В результате использования данного набора операций удалось получить коэффициент подобия, характеризующий форму фигуры. Для представленной программы усредненные значения коэффициента составили: 0,65 – для квадрата, 0,35 – для треугольника, 1,0 – для круга. На рис. 1, 2, 3 изображены результаты определения формы фигур для квадрата (рис. 1), для треугольника (рис. 2) и круга (рис. 3).



Рис. 1 Программа обнаружила жест квадрат. Знак коэффициента ratio показывает, что фигура была нарисована по часовой стрелке. Angles – количество обнаруженных углов

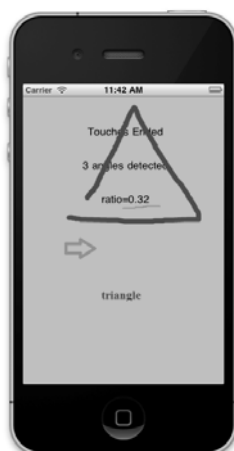


Рис. 2 Программа обнаружила жест треугольник. Знак коэффициента ratio указывает на то, что фигура была нарисована в направлении против часовой стрелки. Angles = 3

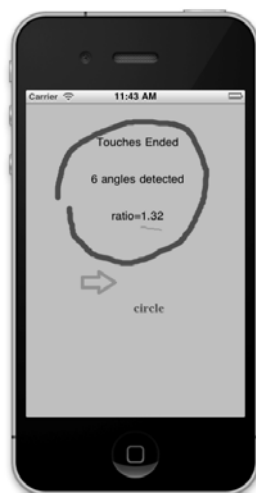


Рис. 3 Программа обнаружила жест круг. Положительный знак коэффициента  $ratio$  указывает на то, что обход фигуры был совершен против часовой стрелки. Из-за большой кривизны контура было обнаружено 6 углов, так как, на самом деле, данная фигура является многоугольником

В ходе реализации алгоритма также было получено, что знак коэффициента подобия указывает на круговое направление, в котором производилось рисование фигуры (по часовой, или против часовой стрелки). Таким образом, удалось не только установить форму жеста, но и ее круговую ориентацию. В ходе эксперимента также была замечена особенность: при попытке использовать вместо жестов рукописные цифры были получены следующие значения коэффициента подобия: 1, 2, 3 – отрицательные; 4, 5, 6 – положительные; 7, 8, 9 – отрицательные, что может являться дополнительной проверкой при определении численного значения.

#### Дополнительные результаты

Для определения процента верного распознавания формы была реализована дополнительная тестовая функция (на серии 100 измерений). Результат работы функции представлен на рис. 4.



Рис. 4. Результат работы тестовой функции (на 100 измерений). Процент верно распознанных форм равен 82. Процент распознаваний, не отнесенных ни к одному из классов форм, равен 2



В среднем процент распознавания колеблется от 60 до 80 и зависит от того, насколько качественно был изображен жест. В силу того, что данные расчеты были проведены с использованием эмулятора iPhone/iPad, возникает вероятность увеличения этого процента при использовании реального устройства по следующим двум соображениям.

- Использование мультисенсорного ввода с помощью пальцев проще, чем использование компьютерной мыши, для получения жеста. В случае более четкого определения формы мы получаем более точные значения для обеих характеристик (определения количества углов, получения коэффициента подобия).

- Как упоминалось в [4], при использовании метода `touchesMoved:withEvent` в программе на реальном устройстве, мы получаем более подробным массив точек, тем самым сокращая процент возможных ложных неровностей контура.

### Заключение

Применение мультисенсорных технологий уже не ново, и их использование становится стандартом. Система мультисенсорных жестов еще не полностью изучена и находится в настоящее время в стадии развития. Рынок современной мобильной индустрии практически полностью состоит из сенсорных устройств.

Полученная программа представляет собой стабильный алгоритм по определению формы жеста на основе статистического подхода.

В среднем доля неопределенных значений формы фигуры-жеста (значения при которых алгоритм не может классифицировать данную фигуру не к одной из трех форм) для алгоритма определения формы фигуры в среднем не превышает 5 процентов, что является удовлетворительным и достаточным результатом для оценки формы. В дальнейшем существует возможность расширения функциональных возможностей программы. Одной из таких возможностей является увеличение количества распознаваемых классов для более точного определения формы (квадрат или ромб, квадрат или прямоугольник и т.д.).

Рассмотренный в статье алгоритм не является самым оптимальным для реализации на эмуляторе, но в случае использования реального устройства может стать более точным.

### Литература

1. Глумов Н.И., Мясников Е.В. Обработка изображений, распознавание образов. Метод быстрой корреляции с использованием тернарных шаблонов при распознавании объектов на изображениях //Компьютерная оптика. – 2008. – том 32. – №3. – С. 277–282.
2. Rao V.B. C++ Neural Networks and Fuzzy Logic. М.:М.Т. Books. – 1995. – р. 549.
3. Dave Mark, Jeff LaMarche. Beginning iPhone 4 Development. Exploring the IOS SDK. М.:Apress. – 2011. – р. 615.
4. Уроки iPhone SDK [Электронный ресурс] /Использование возможностей сенсорного экрана – Виды касаний. – Режим доступа: <http://lookapp.ru/2009/06/03/iphone-sdk-tutorials43>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

УДК 681.5.11

## СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

К.Ф. Чирков, Д.В. Лукичев

В статье рассмотрена методика синтеза системы управления позиционированием пера цифрового плоттера с помощью частотных характеристик разомкнутой системы. В основе данной методики лежит обеспечение заданных запасов по фазе и амплитуде в соответствии с критерием Найквиста. Рассмотрены несколько видов коррекции: коррекция изменением коэффициента усиления, коррекция с отставанием по фазе, коррекция с опережением по фазе, а также использование ПИД регулятора. Приводятся результаты моделирования и анализируются свойства получившихся систем.

**Ключевые слова:** система управления, регулятор, запас устойчивости, коррекция.

При эксплуатации системы ее параметры могут меняться, что может приводить к потере устойчивости системы. Поэтому при проектировании системы управления делают так, чтобы она работала вдали от границы устойчивости. Судить об устойчивости системы можно по ее частотным характеристикам в разомкнутом состоянии. Из критерия устойчивости Найквиста можно сделать два вывода. Во-первых, система будет устойчива, если значению ЛФЧХ, равному  $-\pi$ , будут соответствовать отрицательные значения ЛАЧХ: чем больше это значение, тем лучше (запас по амплитуде). Во-вторых, система устойчива, если в точках пересечения ЛАЧХ и горизонтальной оси (частота среза) фаза ФЧХ  $> -\pi$ , чем больше это значение, тем лучше (запас по фазе). Использование метода частотного синтеза дает нам возможность разрабатывать системы управления, позволяющие обеспечить заранее заданные запасы устойчивости при помощи регуляторов.

Целью работы является синтез ряда регуляторов с использованием частотных характеристик, а также анализ свойств получившейся системы. В качестве объекта управления взята следящая система позиционирования пера цифрового плоттера по одной из координатных осей, передаточная функция разомкнутого контура которой

$$G(p) = \frac{21}{p(p+1)(p+3)}$$

Для получения желаемого и приемлемого вида переходной функции в данной системе необходимо иметь достаточные запасы устойчивости по модулю и по фазе. Обычно считается допустимым запас по фазе  $45^\circ$  и выше, а запас по модулю 8 дБ и более.

Задача синтеза решалась для следующей системы (рис. 1). Здесь  $G(p)$  – передаточная функция объекта управления;  $H(p)$  – передаточная функция датчика, будем считать ее равной единице;  $G_p(p)$  – передаточная функция регулятора.

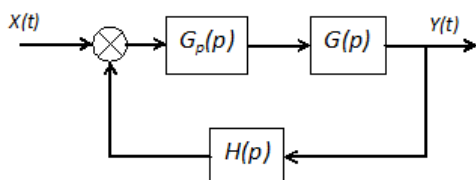


Рис. 1. Структурная схема системы радиолокационного сопровождения с регулятором в общем виде

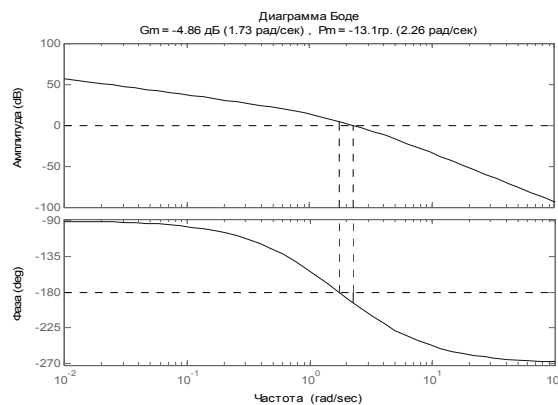


Рис. 2. ЛАФЧХ нескорректированной системы

Для начала работы оценим частотные характеристики нескорректированной разомкнутой системы (рис. 2). Как видно из полученных графиков, запасы такой системы равны  $-4,86$  дБ по амплитуде и  $-13,1^\circ$  по фазе. Эти значения слишком малы, чтобы получить хороший вид переходной характеристики замкнутой системы, она неустойчива. Для удобства дальнейшего синтеза различных систем управления данным объектом запишем частотные характеристики в таблицу 1.

Таблица 1

$\omega$	0,1	...	0,4	0,5	0,6	...	1,2	<b>1,73</b>	<b>2,26</b>	3	...	5
дБ	36,9	x	24,2	21,9	19,8	x	10,8	4,86	0	-5,47	x	-16,9
Модуль	69,9	x	16,22	12,45	9,77	x	3,47	1,75	1	0,53	x	0,14
Фаза	-97,6	x	-119	-126	-132	x	-161	-180	-193	-206	x	-228

В первую очередь рассмотрим *неаналитические* методы синтеза ряда систем:

- с коррекцией изменением коэффициента усиления;
- с коррекцией с отставанием по фазе;
- с коррекцией с опережением по фазе.

### Коррекция изменением коэффициента усиления

Пусть требуемый запас по фазе равен  $40^\circ$ . Так как при коррекции изменением коэффициента усиления фазовая характеристика системы не меняется, то делаем вывод, что такой запас по фазе (фаза равна  $-140^\circ$ ) должен находиться на частоте  $0,73\text{c}^{-1}$ . Амплитуда на этой частоте  $G_{\text{mag}} = 17,6$  дБ, модуль  $|G(p)| = 7,59$ . Значит, для обеспечения требуемого запаса по фазе на данной частоте следует рассчитать регулятор следующим образом:

$$G_p(p) = K = \frac{1}{|G(p)|} = \frac{1}{7,59} = 0,13;$$

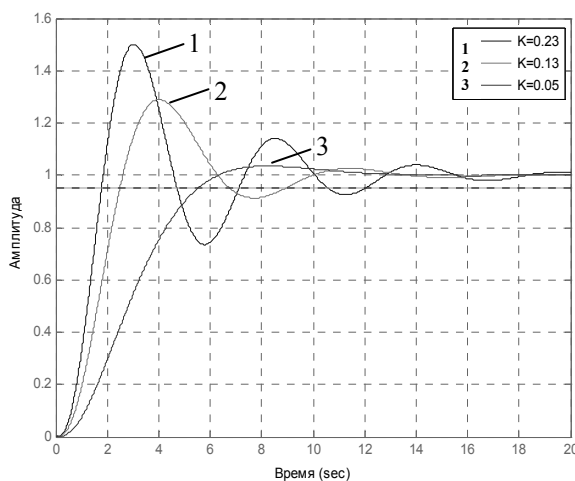


Рис. 3. Графики переходных характеристик системы при разных  $K$

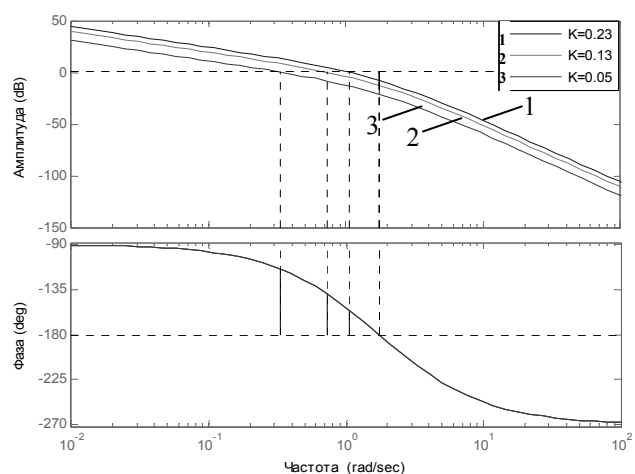


Рис. 4. Диаграмма Боде разомкнутой системы при различных значениях коэффициента усиления

Для проведения анализа синтезируем и сравним системы для обеспечения запаса по фазе  $25^\circ$  ( $K=0,23$ ) и  $65^\circ$  ( $K=0,05$ ). Графики переходных характеристик (рис. 3) приведены для трех различных значений коэффициента  $K$ . Данным способом мы

можем обеспечить желаемый запас устойчивости по фазе, однако вынуждены будем согласиться как с частотой, на которой он будет иметь место, так и со значением запаса по модулю.

Достаточно наглядно данная ситуация представляется на диаграмме Боде разомкнутой системы (рис. 4). С уменьшением коэффициента усиления, несомненно, увеличивается запас по фазе, однако уменьшается также и частота, на которой этот запас обеспечивается, и, как следствие, уменьшается полоса пропускания системы.

Полученные данные целесообразно свести в одной таблице (таблица 2).

Таблица 2

$K$	Запас по фазе, °	Перерегулирование, %	Время нарастания, с	Полоса пропускания, с <sup>-1</sup>
0,05	65	4	5,52	0,53
0,094	40	28	2,55	1,24
0,16	25	50	1,76	1,73

Из полученных данных видно, что увеличения запаса устойчивости за счет уменьшения значения коэффициента, приводит к следующему.

1. Уменьшение перерегулирования в переходной характеристике;
2. К увеличению времени переходного процесса;
3. К уменьшению полосы пропускания системы.

### Коррекция с отставанием по фазе

Регулятор имеет следующую передаточную функцию.

$$G_r(p) = \frac{1 + p/\omega_z}{1 + p/\omega_p}$$

Синтез регулятора сводится к нахождению нуля функции ( $\omega_z$ ) и ее полюса ( $\omega_p$ ). Для получения требуемой характеристике всей системы. Если  $\omega_z > \omega_p$ , то данный регулятор будет обладать отставанием по фазе, если  $\omega_z < \omega_p$ , то он будет обеспечивать опережением по фазе.

Регулятор с отставанием по фазе позволяет уменьшить коэффициент усиления на высоких частотах, однако вводит отрицательный сдвиг по фазе. Произведем поэтапный синтез регулятора.

Во-первых, определимся с коэффициентом усиления, примем его  $K=0,5$ . Во-вторых, определим частоту, на которой будет обеспечиваться запас по фазе в  $\varphi_m = 40^\circ$ .

$$\arg(K H(j\omega) G(j\omega)) = -180^\circ + \varphi_m + 5^\circ = 135^\circ;$$

Определяем значение частоты в этой точке  $\omega_1=0,65 \text{ с}^{-1}$ .

$$\text{Задаем значение нуля регулятора } \omega_z = 0,1\omega_1 = 0,065;$$

Определим значения полюса регулятора.

$$\omega_p = \frac{0,1\omega_1}{|K H(j\omega) G(j\omega)|} = \frac{0,065}{4,47} = 0,015;$$

В результате получаем следующую передаточную функцию.

$$G_r(p) = \frac{K(1 + p/\omega_z)}{1 + p/\omega_p} = \frac{1 + p/0,065}{1 + p/0,015} = \frac{1 + 15,38p}{1 + 66,7p};$$

Диаграмма Боде разомкнутой системы представлена на рис. 5.

Опираясь на полученные данные, можно сказать следующее:

- Характеристики системы в области низких частот лучше, чем в первом случае.
- Запасы устойчивости сохраняются
- 3. Полоса пропускания уменьшается, что для некоторых систем является хорошим фактором, для некоторых нежелательно
- Время переходного процесса велико (см. рис.8).

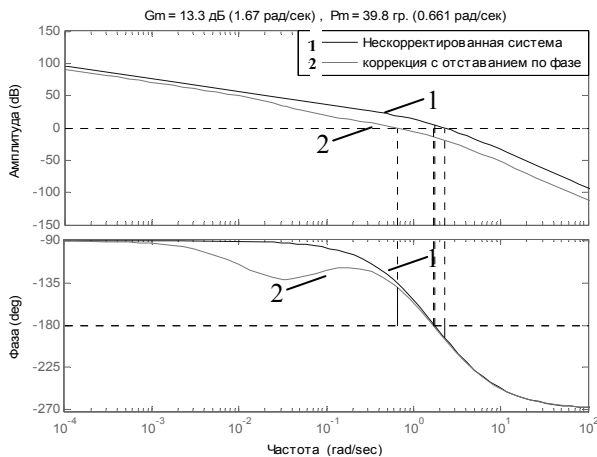


Рис. 5. Сравнительные диаграммы Боде разомкнутой системы с коррекцией с отставанием по фазе и без коррекции

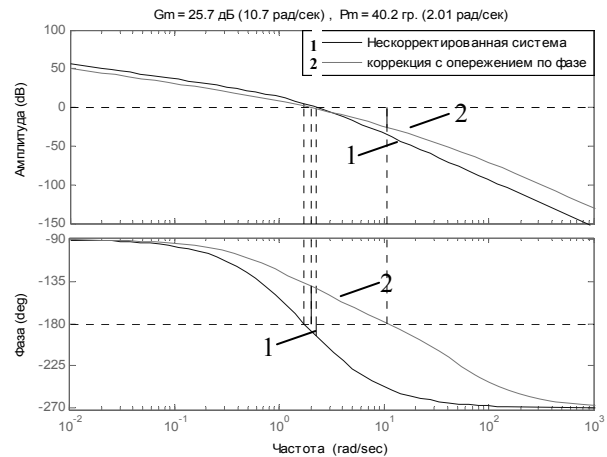


Рис. 6. Сравнительные диаграммы Боде разомкнутой системы с коррекцией с опережением по фазе и без коррекции

### Коррекция с опережением по фазе

Регулятор имеет следующую передаточную функцию.

$$G_p(p) = \frac{1 + p/\omega_0}{1 + p/\omega_p}$$

По сути, такой регулятор является фильтром высоких частот, так как для них коэффициент передачи значительно больше, чем для низких частот. Увеличение усиления на высоких частотах ухудшает устойчивость системы, однако положительный сдвиг по фазе, создаваемый регулятором, стремится увеличить запас устойчивости. Поэтому при синтезе такого регулятора, нужно стараться сделать так, чтобы преобладал второй эффект.

Проведем неаналитический синтез, для данного регулятора должно выполняться условие  $\omega_0 < \omega_p$ , задача синтеза сводится к выбору нуля передаточной функции, а затем проводится подбор значения полюса до тех пор, пока он не даст необходимый запас по фазе.

Ноль регулятора выбираем вблизи точки пересечения частотной характеристикой разомкнутой некорректированной системы уровня 0 дБ. Анализируя таблицу 1, пусть  $\omega_0 = 17$ , тогда после проведенного ряда моделирований выбираем  $\omega_p = 50$ . В результате получим запас по фазе 40,2°.

В результате получим следующую передаточную функцию регулятора.

$$G_p(p) = \frac{K(1 + p/\omega_0)}{1 + p/\omega_p} = \frac{1 + p/17}{1 + p/50} = \frac{1 + 0.59p}{1 + 0.02p}$$

Данный метод представляет собой серию проб и ошибок при подборе значений нуля и полюса регулятора, наряду с ним существует более аналитический метод синтеза регулятора с опережением по фазе.

Если требуемый запас по фазе реализуется на частоте  $\omega_1$ , то можно записать:

$$G_p(j\omega_1)G(j\omega_1)H(j\omega_1) = e^{j(-180+\varphi_m)};$$

Запишем передаточную функцию регулятора в иной форме:

$$G_p(p) = \frac{a_0 + pa_1}{1 + pb_1};$$

Тогда

$$\frac{a_0 + j\omega_1 a_1}{1 + j\omega_1 b_1} G(j\omega_1)H(j\omega_1) = e^{j(-180+\varphi_m)};$$

Диаграмма Бode разомкнутой системы представлена на рис. 6

Приравняв действительные и мнимые части и произведя ряд математических преобразований, выразим  $a_1$  и  $b_1$  через  $a_0$  и  $\omega_1$ .

$$a_1 = \frac{1 - a_0 |G(j\omega_1)H(j\omega_1)| \cos\theta}{\omega_1 |G(j\omega_1)H(j\omega_1)| \sin\theta};$$

$$b_1 = \frac{\cos\theta - a_0 |G(j\omega_1)H(j\omega_1)|}{\omega_1 \sin\theta};$$

где  $\theta < -180 + \varphi_m - \arg(G(j\omega_1)H(j\omega_1))$ .

Задавшись временем установления  $T_s = 4$  сек., выбираем  $\omega_1$  так, что

$|G(j\omega_1)H(j\omega_1)| < 1$  и  $\omega_1 > 8/T_s \cdot \text{tg } \varphi_m$ . Пусть коэффициент усиления  $a_0 = 0,5$ . На рис. 7 и 8 представлены соответственно графики частотных и переходных характеристик рассмотренных систем.

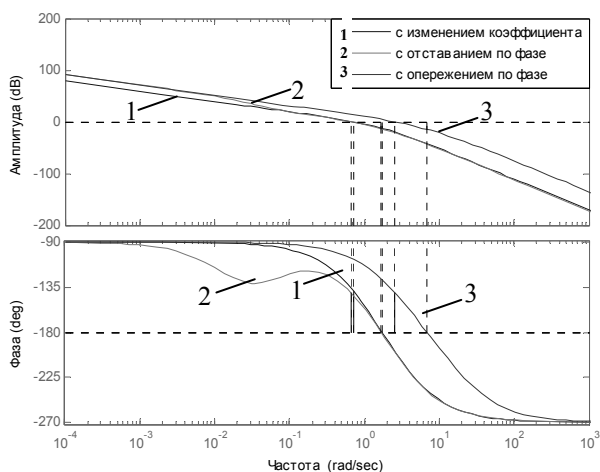


Рис. 7. Сравнительные диаграммы Бode систем с амплитудной коррекцией, с коррекцией с отставанием по фазе, с коррекцией с опережением по фазе

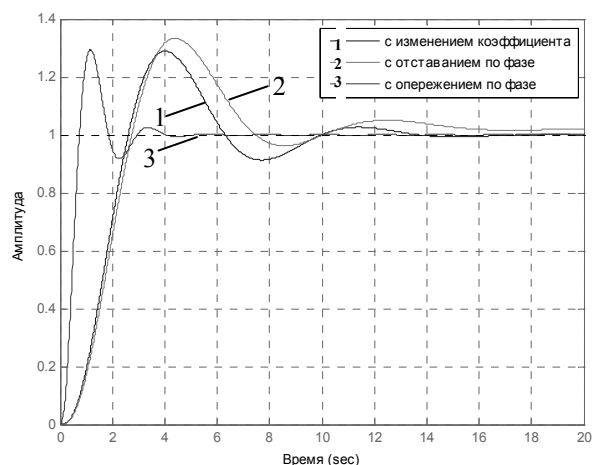


Рис. 8. Сравнительные графики переходных характеристик систем с амплитудной коррекцией, с коррекцией с отставанием по фазе, с коррекцией с опережением по фазе

Из полученных данных можно сделать следующие выводы:

- Заметное увеличение запасов устойчивости
- Лучшие свойства системы в области высоких частот
- На выходе регулятора могут появляться большие сигналы, способные вывести систему из строя, либо вынуждающие работать систему в нелинейном режиме.

### Синтез ПИД регулятора

Возможно использование регулятора с отставанием и опережением по фазе, который является последовательным соединением двух данных регуляторов. Синтез такого регулятора производится следующим образом: часть, ответственная за отставание по фазе, настраивается так, чтобы обеспечить сохранение усиления в области нижних частот и обеспечить запас по модулю. Другая часть регулятора, ответственная за опережение по фазе, должна обеспечивать требуемый запас по фазе и полосу пропускания, обеспечивающую желаемое быстродействие. В результате мы получаем незначительный проигрыш в быстродействии и заметное уменьшение величины скачка на выходе регулятора при подаче на вход системы единичного ступенчатого воздействия.

ПИД-регулятор является частным случаем регулятора с отставанием и опережением по фазе, кроме того, для его синтеза необходимо определить лишь 3 параметра. При синтезе также возможен неаналитический метод, однако целесообразнее будет рассмотреть аналитический метод синтеза ПИД-регулятора.

В общем виде передаточная функция регулятора имеет вид.

$$G_p(p) = K_p + \frac{K_i}{p} + K_D p;$$

По сути своей он является комбинацией двух предыдущих регуляторов с отставанием, полюс которого помещен в начало координат, и с опережением по фазе, полюс которого смещен в бесконечность. Такой регулятор обладает большей гибкостью по сравнению с каждым из двух его образующих.

На рис. 9 и 10 представлены соответственно графики частотных и переходных характеристик системы с ПИД-регулятором.

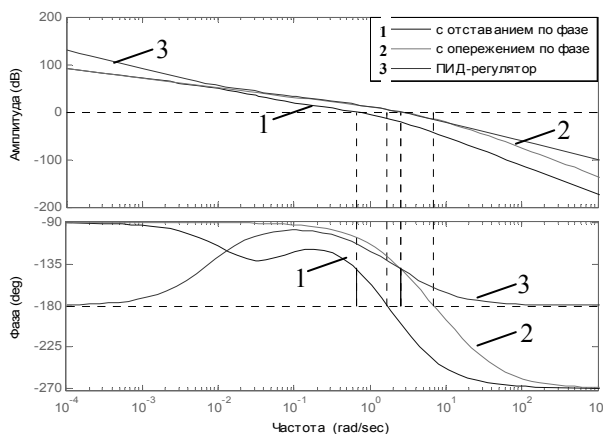


Рис. 9. Диаграммы Бode систем с коррекцией с отставанием по фазе, с коррекцией с опережением по фазе и с ПИД-регулятором

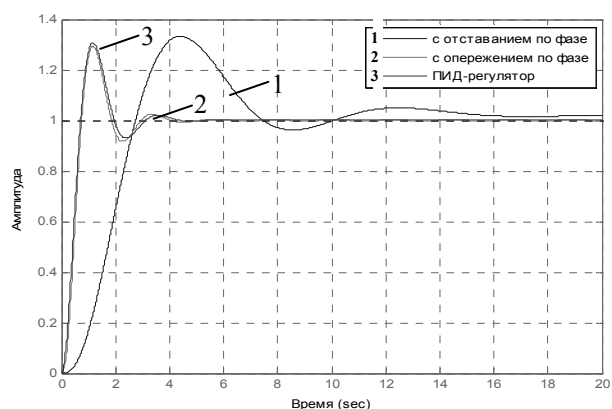


Рис. 10. Графики переходных характеристик систем с коррекцией с отставанием по фазе, с коррекцией с опережением по фазе и с ПИД-регулятором

ПИД-регулятор обладает комбинированными свойствами предыдущих вариантов. Система с таким регулятором оптимально проявляет себя во всем диапазоне частот, однако в ряде случаев целесообразнее использовать более простые регуляторы. Кроме того, неограниченно возрастающий коэффициент усиления дифференциатора может вызвать проблемы, поэтому в канал производной целесообразно вводить полюс, чтобы ограничить усиление на высоких частотах, тогда передаточная функция примет вид.

$$G_p(p) = K_p + \frac{K_i}{p} + \frac{K_D p}{1 + p/\omega_d};$$



### Заключение

Представленный метод синтеза с помощью частотных характеристик позволяет наглядно представить желаемый результат коррекции системы, достаточно точно обеспечивает запасы по амплитуде и фазе системы. Однако всегда следует учитывать, что синтез производится для математической модели реальной системы, которая не способна в точности отразить все характеристики такой системы, а значит любой регулятор синтезированный таким образом требует проверки и в случае необходимости дополнительной отладки на реальной системе.

### Литература

1. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лабор. Баз. Знаний 2001г – 616 с.
2. Ерофеев А.А.: Теория автоматического управления: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: Политехника, 2003г. – 302 с.
3. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 2001г. – 704 с.

УДК 681.586.773

## СЕНСОРЫ ДЛЯ ТАКТИЛЬНОГО ОЧУВСТВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

А.В. Шаветов

В статье рассматривается вариант конструкторской разработки сенсоров для систем тактильного мониторинга и импульсного давления. Описывается конструкция такого датчика. Приводятся примеры использования данного типа датчиков.

**Ключевые слова:** тактильные сенсоры, очувствление, робототехника

### Введение

Периодически в различных публикациях рассматриваются идеи создания устройств, способных регистрировать тактильные воздействия различного рода (распознавание поверхности, образов, имитация человеческой кожи). Большой интерес представляют конкретные конструкции систем такого рода.

В настоящее время разработке тактильных датчиков, способных к распознаванию геометрических образов окружающего пространства, уделяется все больше внимания, что обусловлено развитием робототехники. Все больше создаваемых робототехнических объектов оснащаются видеокамерами для зрительного распознавания объектов, т.е. бесконтактного. Но настоящий интерес вызывает именно контактное определение окружающего пространства – механическое осязание доступной зоны. Создание устройств такого рода многие специалисты считают весьма перспективным направлением, как и разработку технического зрения наподобие человеческого. Задачи ориентации в пространстве в условиях недостаточной освещенности, схватывании объекта и т.п. не могут быть эффективно решены без использования тактильного мониторинга. Это относится к робототехническим системам, осуществляющим взаимодействие с неопределенной средой, в которой изначально неизвестно расположение объектов и их параметры (форма, материал), параметры объектов изменяются с течением времени [1].



### Постановка задачи

Для успешного решения обозначенных задач робототехнический комплекс должен быть способен распознавать окружающую среду (или объекты в ней) с помощью тактильных датчиков. Например, задача тактильного мониторинга поверхности включает в себе необходимость преобразования «ощупываний» рельефа исследуемой поверхности в электрические сигналы, которые могут быть использованы для получения требуемой информации, такой, как обрыв, подъем, неровности и т.д., или ощущение схвата робота, который должен, при взаимодействии с объектами, применять корректное усилие. Ощущение схвата особенно важно при работе с объектами разного веса и формы, а также когда вес и форма могут изменяться в процессе взаимодействия. Создание правильного схватывающего усилия, соответствующего параметрам объекта, позволит избежать непреднамеренной деформации и повреждения, к тому же повысит точность позиционирования и все обозначенные операции смогут выполняться в адаптивном режиме.

На рис. 1 представлены два возможных размещения пьезоэлектрических пластин. Рис. 1, а, показывает вариант одной чувствительной ячейки для плоских тактильных элементов, которые больше направлены на определение прикосновений, чем значительного рельефа. Здесь при внешнем воздействии на элемент на контактах мы получаем электрическое напряжение, которое изменяется в зависимости от характера воздействия. На рис. 1, б, представлен вариант компоновки чувствительного элемента, который способен различать значительные изменения рельефа, в зависимости от используемых компонентов, от 1 до 15 мм. Конструкцией предусмотрен щуп, способный перемещаться под воздействием неровностей рельефа. В свою очередь, перемещения щупа изгибают пьезоэлектрический элемент, на контактах которого мы снимаем электрическое напряжение, изменяющееся в зависимости от изменений рельефа.

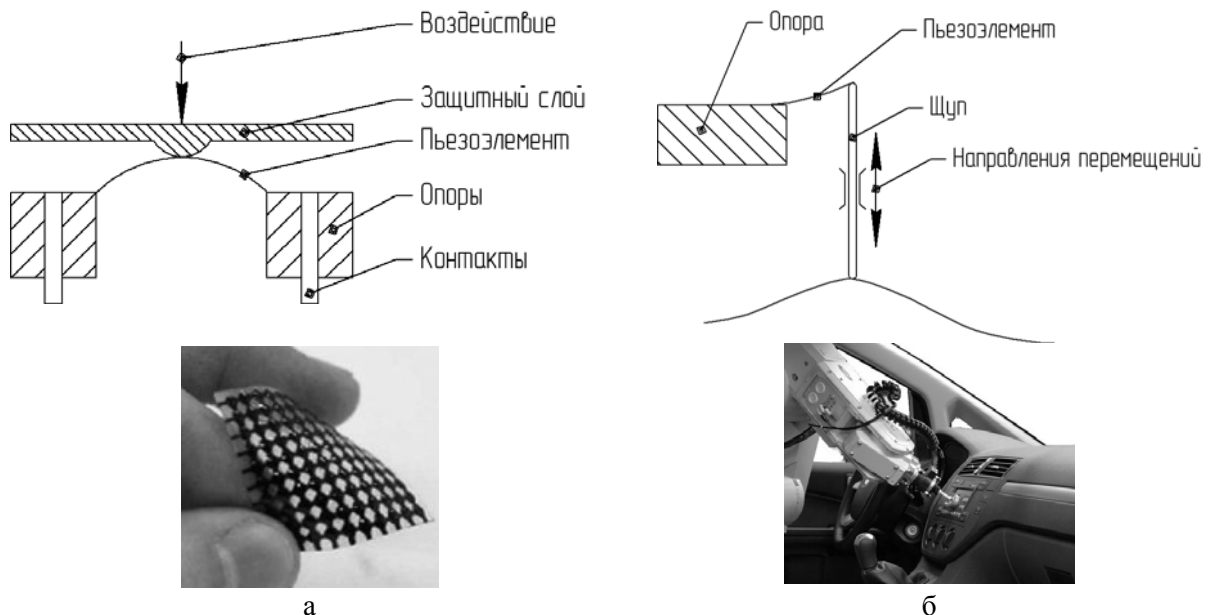


Рис. 1. Размещения пьезоэлектрических пластин

В настоящей работе был сконструирован рабочий прототип, конструкция которого состоит из элементов, обозначенных на рис. 1, б. Это устройство имеет 12 самостоятельных чувствительных датчиков. Разрез прибора представлен на рис. 2.

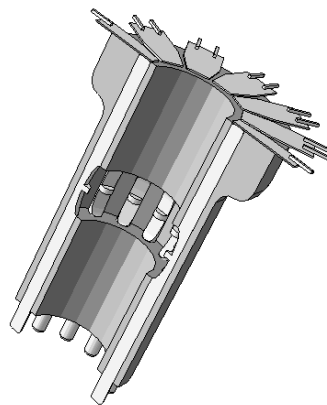


Рис. 2. Прототип в разрезе.

В качестве обработчика первичных сигналов от датчиков используется профессиональная плата разработчика Parallax DB.

### **Расчет сенсоров с помощью теории нелинейного изгиба**

Основным вопросом расчета стержневых конструкций является задача об изгибе стержня. Большой вклад в создание и развитие методов анализа упругих стержней был внесен зарубежными учеными – Эйлером, Лагранжем, Лявом. Ими был сформулирован статический принцип подхода к анализу упругих тонкостенных структур. Также и наши соотечественники, такие как Попов, Тимошенко, Светлицкий и т.д., посвятили много работ по экспериментальным исследованиям и методам расчетов упругих чувствительных элементов. Основным способом решения таких задач является получение приближенных линейризованных уравнений равновесия для изогнутых стержней. Для некоторых случаев есть точные решения нелинейных уравнений, выраженные в эллиптических интегралах. В таких случаях решение определяется тремя параметрами, связанными с условиями на двух концах и действующей силой и находящимися из вспомогательных таблиц. Несмотря на большое количество теоретических моделей и методов, решения задачи об изгибе очень громоздки и сложны для использования.

В то же время есть прогресс в получении точных аналитических решений, выраженных в эллиптических функциях с одним параметром - модулем  $k$ , определяемым действующей силой. В настоящее время есть достаточно эффективные, быстрые алгоритмы для вычисления эллиптических функций и интегралов на основе современных математических пакетов (Maple и Matlab), что позволяет создать эффективные программные продукты для визуализации точных решений для изгиба тонких стержней. В наши дни это имеет ясно выраженное прикладное инженерное значение при расчете устройств точной механики и условиях ограниченных габаритов, поскольку точные аналитические решения в ряде случаев значительно отличаются от приближенных. Поэтому сравнение точных решений с приближенными может позволить найти те области параметров, где целесообразно использовать точное или возможно использовать приближенное решение. Это может позволить выбрать оптимальные характеристики создаваемых устройств микромеханики.

Определим задачу. Пусть тонкий нерастяжимый упругий стержень, изначально прямой, закрепленный на левом конце и свободный на правом, подвергается действию (сжатию под произвольным углом) внешней нагрузки, сосредоточенной на правом конце стержня. Изначальное неизогнутое положение стержня - вдоль оси  $Ox$ . Левый закрепленный конец стержня расположим в начале координат (рис. 3).

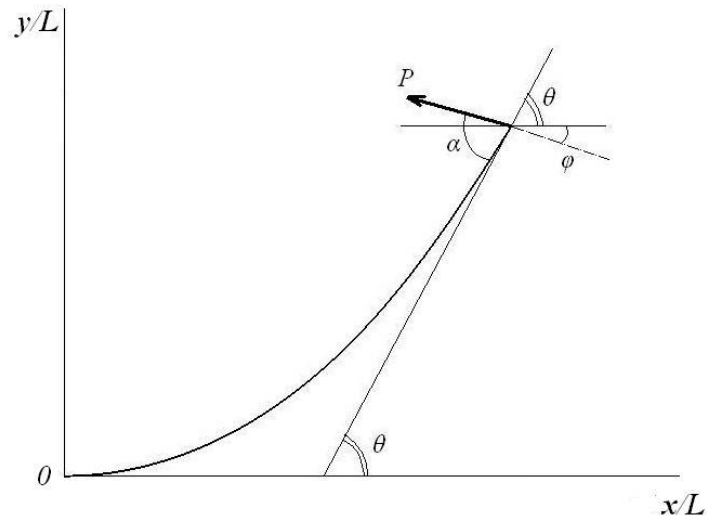


Рис. 3. Постановка задачи. Система координат:

$L$  – длина стержня,  $l$  – криволинейное расстояние от начала координат до рассматриваемой точки,  $\alpha$  – угол слежения,  $\varphi$  – угол наклона силы к оси  $OX$ ,  $\theta$  – угол наклона касательной к оси  $OX$ ,  $P$  – внешняя приложенная сила

Так как распределенная нагрузка отсутствует, то уравнение равновесия стержня запишем в следующем виде [2]

$$EI \frac{d^2\theta}{dl^2} - P_x \sin \theta + P_y \cos \theta = 0 \quad (2.1)$$

Для упрощения уравнения введем полный модуль действующей сосредоточенной силы  $P$  и угол наклона направления силы к оси  $OX$   $\varphi_0$ . Для изучения всех возможных вариантов изгиба стержня достаточно рассматривать угол направления силы  $\varphi_0$  изменяющимся в пределах от 0 до  $\pi/2$ . Будем считать величины  $P$  и  $\varphi_0$  известными. Получим

$$P_x = -P \cos \varphi, \quad P_y = P \sin \varphi$$

Подставляя эти выражения в уравнение (2.1), получим

$$\frac{d^2\theta}{dl^2} + \frac{P}{EL} \sin(\theta + \varphi_0) = 0$$

Введем безразмерную длину  $t = l/L$ , изменяющуюся от 0 до 1, и сделаем замену  $\gamma = \theta + \varphi_0$ . Введем обозначение для собственного числа  $q^2 = PL^2/EI$ . Тогда получим уравнение для угла  $\gamma$  типа уравнения нелинейного маятника

$$\frac{d^2\gamma}{dt^2} + q^2 \sin \gamma = 0$$

Решение этого уравнения:

$$\begin{aligned} \gamma(t) &= 2 \arcsin \left[ k \operatorname{sn}(qt + F_1, k) \right], \\ \frac{d\gamma(t)}{dt} &= 2kqcn(qt + F_1, k), \end{aligned} \quad (2.2)$$

где функции  $\operatorname{sn}$  и  $\operatorname{cn}$  – эллиптические синус и косинус Якоби. Модуль эллиптических функций  $k$  и параметр  $F_1$  играют роль констант интегрирования, и их связь с действующей силой  $P$  и углом приложения  $\varphi_0$  определяется из граничных условий каждого конкретного случая изгиба стержня [3].

Введем обозначение для аргумента эллиптических функций

$$u=qt+F_1 \quad (2.3)$$

Используя выражение (2.2), получим  
 $\cos \gamma(t)=1-2k^2 \operatorname{sn}^2 u, \sin \gamma(t)=2k \operatorname{sn} u \operatorname{dn} u.$  (2.4)

Интегрируя соотношения  $dx/dl=\cos\theta, dy/dl=\sin\theta$ , получим координаты произвольной точки стержня

$$x = \int_0^t \cos \theta dt = \int_0^t \cos(\gamma - \phi_0) dt = \frac{CC \cos \phi_0 + SS \sin \phi_0}{L}$$

$$y = \int_0^t \sin \theta dt = \int_0^t \sin(\gamma - \phi_0) dt = \frac{SS \cos \phi_0 + CC \sin \phi_0}{L} \quad (2.5)$$

Использованные здесь обозначения  $CC$  и  $SS$ , полученные с помощью (2.4), имеют вид

$$CC = \int_0^t \cos \gamma dt = \int_0^t (1 - 2k^2 \operatorname{sn}^2 u) dt = -t + \frac{2}{q} [E(am u) - E(am F_1)],$$

$$SS = \int_0^t \sin \gamma dt = \int_0^t 2k \operatorname{sn} u \operatorname{dn} u dt = \frac{2k}{q} [cn F_1 - cn u]. \quad (2.6)$$

Здесь  $E(am u)$  – неполный эллиптический интеграл второго рода от эллиптической амплитуды Якоби. Выражения (2.5) и (2.6) задают форму профиля изогнутого стержня в параметрическом виде с параметром  $t$  - приведенной криволинейной длиной.

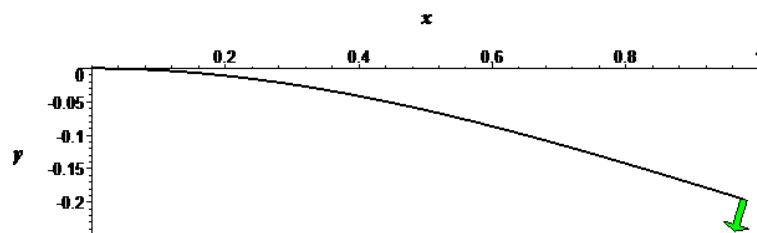


Рис. 4. Визуализация изгиба

### Применение пьезоэлектрических датчиков

Внешние механические силы, воздействуя в определенных направлениях на пьезоэлектрический материал, вызывают в нем не только механические напряжения и деформации (как во всяком твердом теле), но и электрическую поляризацию и, следовательно, появление на его поверхностях связанных электрических зарядов разных знаков. При изменении направления механических сил на противоположное становятся противоположными направление поляризации и знаки зарядов. Это явление называют прямым пьезоэффектом.

При прямом пьезоэффекте заряды на поверхности диэлектрика пропорциональны приложенной силе.

$$V=dP$$

где  $V$  – величина напряжения,  $P$  – величина приложенной силы,  $d$  – коэффициент пропорциональности между зарядом и приложенной силой, называемый пьезомодулем. Конкретное значение пьезомодуля зависит от применяемого материала и содержится в его описании.

Важно отметить, что приведенные соотношения имеют лишь качественный характер. Реальное описание пьезоэлектрического эффекта намного сложнее.

### Заключение

Тактильные датчики находят применение в робототехнике и медицине. В данной работе приведена конструкторская разработка тактильного датчика. Показан пример расчета координат точки сенсора с помощью теории нелинейного изгиба. Этот алгоритм позволяет найти положение свободного конца индивидуального сенсора, что используется в практических измерениях.

### Литература

1. Elio Tuci, Gianluca Massera, Stefano Nolfi. Active categorical perception of object shapes with anthropomorphic robotic arm // IEEE transactions on evolutionary computation, Vol. 14, No.6, Dec 2010.
2. Попов Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней. – М.: Наука, 1986. – 296 с.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 576 с.

УДК 681.2.083

## ЗАМЕР КРОВОТОКА ПОД СЛИЗИСТОЙ ЖЕЛУДКА МЕТОДОМ ДОПЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ

А.В. Шиганов, Д.Р. Утамышева

Научный руководитель – Ю.О. Валитова

Статья поднимает вопрос создания лабораторной установки для замера кровотока в тканях желудка. Рассмотрено ряд методов и выбран наиболее подходящий. Описана лабораторная установка, решающая данную проблему методом доплеровской флоуметрии.

**Ключевые слова:** доплеровская флоуметрия, кровоток подслизистой желудка, измерительный комплекс.

Основное свойство слизистой желудка – это ее способность защищать стенки от агрессивной кислотной среды. Для выполнения этой функции химический состав слизистой постоянно меняется, но получить какие-либо данные о динамике изменений очень сложно.

Экспериментальные результаты доказали, что существует зависимость между изменениями в слизистой оболочке и динамикой кровотока [1]. Очевидно, что выявление этой зависимости – путь к системному пониманию процессов, происходящих в пищеварительной системе и, следовательно, – новые данные для создания методик лечения заболеваний желудка, например, таких как язва и язвенная болезнь. Но инструментов, полностью решающих поставленную задачу, в настоящее время не существует. Поэтому целью исследования является выбор метода замера кровотока в подслизистой ткани желудка и разработка инструмента, позволяющего реализовать этот метод.

Данные о кровотоке можно получить следующими методами: инвазивный замер давления, видео микроскопия, метод доплеровской флоуметрии. Рассмотрим каждый из этих методов подробнее, их преимущества и недостатки.

- 1) Инвазивный замер давления. Замер давления производится непосредственно в артерии с помощью катетера. Преимущество заключается в точности замера в конкретной артерии. Однако способ полностью исключает возможность замера кровотока в ткани, влечет сильные операционные повреждения и сильно нарушает кровоток.

- 2) Видеомикроскопия. Суть метода заключается в том, что желудок снимают камерой с большим увеличением, после чего по видео замеряется толщина сосуда и по специальным формулам рассчитывается давление. Основным недостатком этого метода является сложность реализации как программной части, так и фиксатора желудка, поскольку из-за постоянного движения желудка он зачастую выходит из поля зрения камеры.
- 3) Метод доплеровской флоуметрии. Этот метод заключается в том, что с помощью эффекта Доплера проводится замер скорости движения, а затем с помощью специального математического аппарата рассчитывается давление [2]. Его достоинство состоит в том, что метод – неинвазивный, что позволяет не нарушать целостность тканей и, следовательно, кровоснабжения. К тому же с легкостью можно замерять кровоток как в ткани, так и в артериях. Более того, данный метод обладает высокой информативностью, чувствительностью и специфичностью получаемых данных.

Для решения описанной проблемы был выбран метод доплеровской флоуметрии, потому что он минимально травмирует орган и предоставляет наиболее полные данные. В данном методе нет недостатков, каким обладают остальные методы, а именно малая динамичность, больше травмирование подопытного животного.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- собрать лабораторную установку и откалибровать ее;
- выбрать наиболее подходящую для замера область желудка;
- разработать способы фиксации датчика в желудке, компенсации движения желудка и защиты датчика от агрессивной среды желудка
- подобрать фильтры для компенсации погрешности замеров;
- опробовать лабораторную установку и оценить результаты ее использования;
- подготовить отчетные материалы.

Основой для лабораторной установки явился доплеровский флоуметр Periflex PF3, Perimed [3]. Для подключения доплеровского флоуметра к компьютеру было решено использовать имеющийся на приборе аналоговый выход. Для оцифровки сигнала используется интегральная плата NI DAQ PCI-6221. Чтобы подключить флоуметр, был разработан и собран адаптер, который представляет собой разводку разъема D-Sub 15 pin, установленную на флоуметре на разъемы типа BNS. На данный момент лабораторная установка полностью собрана и готова к использованию. Собранный и работающий адаптер представлен на рис. 1.

Разработана демо-версия программного обеспечения с ограниченным функционалом. Главная цель демо-версии – предоставить возможность провести первичный эксперимент для настройки и отладки таких частей системы как позиционирование и фиксация органа. Программное обеспечение позволяет замерять сигнал и сохранять его для дальнейшей работы.

Также был произведен тестовый неинвазивный замер кровотока в сонной артерии человека с помощью собранной установки. Целью данного замера было тестирование оборудования, программного обеспечения и выявления уровня шумов. Результатом тестирования стал записанный и пригодный для обработки сигнал. График полученного сигнала представлен на рис. 2.

Как видно из графика, в сигнале присутствует явный стационарный шум, для борьбы с этим был применен низкочастотный фильтр с частотой пропускания 140 Гц. В результате был получен сигнал, отражающий только значимые колебания в кровотоке сонной артерии.

Следовательно, можно сказать, что основная цель исследования достигнута. А именно – выбран метод замера кровотока в подслизистой ткани желудка (метод доплеровской флоуметрии) и разработан инструмент, позволяющий реализовать этот метод. Сейчас, совместно с физиологами, ведутся работы по разработки методики проведения эксперимента на подопытном животном.



Рис. 1. Лабораторная установка для замера кровотока под слизистой желудка методом доплеровской флоуметрии

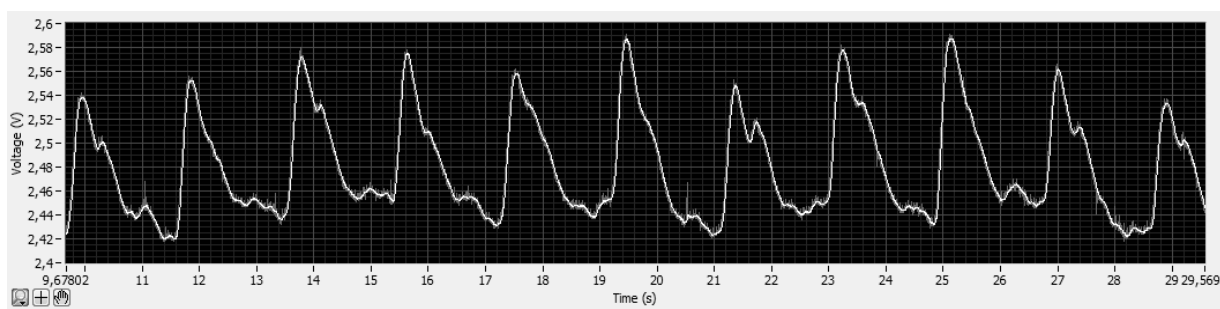


Рис. 2. Тестовые замеры кровотока

### Литература

1. Трифонов Е.В. Пневмапсихосоматология человека. Русско-англо-русская энциклопедия. 15-е изд., Спб 2012.А.И.
2. Крупаткина В.В. Сидорова. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. Руководство для врачей. – М.: Медицина., 2005. – 125 с.
3. PeriFlux PF 3 Laser Doppler Perfusion Monitor USER'S HANDBOOK

УДК 658.5

## ПРИНЦИПЫ УНИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

С.С. Гвоздев, Е.А. Щербакова

В статье рассмотрены принципы и этапы унификации на основе эксплуатационной и производственной документации. В рамках статьи обозначены этапы унификации эксплуатационной и производственных документов.

**Ключевые слова:** унификация, производственная документация, эксплуатационная документация.

С усовершенствованием компьютерных технологий, с развитием текстовых и графических редакторов время и трудоресурсы, затраченные на процесс оформление документации, должны были сократиться. Но этого не произошло в полном объеме по ряду причин. Это и усложнение разрабатываемых изделий, и время, потраченное разработчиком на освоение новой программы, но основная причина – это предоставление разработчику возможности создавать новые виды документов, что привело к неоправданному множеству форм документа и к нестабильности требований к ним.

Оптимизация процесса документирования происходит за счет унификации и стандартизации документов. Унификация – это выбор оптимального числа разновидностей продукции, процессов и услуг, значений их параметров и размеров [1].

В процессе создания изделия выпускается как производственная, так и эксплуатационная документация (ЭД). Какие документы и в каком объеме разрабатывать, определяется спецификой предприятия и видом изделия (в рамках статьи рассматриваются конструкторские и программные изделия).

Производственная документация используется в процессе разработки изделия. К видам производственной документации относят документацию опытного производства (опытного образца и (или) опытной партии) изделия, установочной и головной серии. По данным в производственной документации можно неоднократно повторить процесс с одинаковым результатом на выходе. Примеры производственной документации которая применяется в процессе изготовления программных и конструкторских изделий:

- программные документы [2]:
  - текст программы;
  - описание программы;
  - программа и методика испытаний;
- конструкторские документы [3]:
  - чертежи;
  - схема;
  - спецификация;
  - ведомости;
  - технические условия;
  - программа и методика испытаний;
  - таблица инструкция.

В отличие от производственной документации, эксплуатационная представляет собой сведения для обеспечения функционирования и эксплуатации продукта после его изготовления. К эксплуатационным документам относят текстовые и графические рабочие документы, которые в отдельности или в совокупности дают возможность ознакомления с изделием и определяют правила его эксплуатации. В ЭД включают в необходимых объемах сведения об изделии в целом и составных частях, установленных на изделии к моменту поставки его заказчику (потребителю).



В зависимости от особенностей изделия, объема сведений по нему и условий эксплуатации допускается:

- разделять документ на части в соответствии с ГОСТ 2.105;
- разрабатывать объединенные эксплуатационные документы (допускается выпускать на составные части изделие общий эксплуатационный документ).

Процесс унификации эксплуатационной и производственных документов можно разделить на несколько этапов. К первому этапу можно отнести унификацию форматов бумажных носителей. Форматы ввели определенный порядок, систему и закрепили ограничения размеров форматов бумаги для изготовления документов. К следующему этапу унификации следует отнести унификацию форм – закрепление расположения реквизитов документа на листе бумаги и требования к ним, проводимое путем разработки стандартов на системы документации, так и разработка унифицированных форм документов, в которых определена информация, излагаемая в тексте документа. Как третий этап можно выделить унификацию теста документа, если нет утвержденной унифицированной формы, т.е. определение, какую информацию, в какой последовательности изложить в документе. К унификации текста документа можно отнести также разработку и применение наборов стандартных фраз и выражений (стандартизированные формулы, клише, сложившиеся словосочетания). К четвертому этапу унификации документов можно отнести понятийную унификацию, т.е. упорядочение терминологии [4].

Согласно НД, предприятие может вводить свои правила оформления документации при условии, что они не противоречат требованиям НД более высокого уровня (национальным, государственным, международным).

Эксплуатационная документация разрабатывается на несколько типов продукции. Наиболее распространенные – это изделие и программный продукт. На данные типы продукции разрабатываются конструкторские и программные документы соответственно. С одной стороны, эксплуатационные документы – это отдельный вид документации, с другой стороны, он входит как в конструкторскую, так и с программную документацию и оформляются с учетом тех правил и норм, которые применяются при разработки продукции.

При сравнительном анализе программной и конструкторской документации можно обозначить их отличительные особенности на каждом этапе унификации.

1) Поскольку конструкторская документация развивалась более длительное время, то требования к ее представлению наиболее сложные. В конструкторской документации обязательные рамки для оформления документа находятся на каждом листе, за исключением титульного [5], а в программной документации обязательная рамка находится на титульных листах и листах утверждения [6]. В конструкторской документации применяются форматы документов А4, А3, А1, в программной документации применяются только формат А4 и редко – А3. [7]:

2) Расположение реквизитов документа и его обозначения на листе, согласно второму этапу процессу унификации, в программной и конструкторской документации отличаются. Структура обозначения конструкторских документов наиболее сложна. На рис. 1 приведено обозначение основного конструкторского документа. Также существует обозначение исполнений изделия и документов при групповом и базовом способе исполнения согласно нормативным документам (НД) [8].

В программной документации присутствует упрощенная структура обозначения документов (рис. 2). К тому же разработчик может ввести необходимый вид документа с нумерацией от 90 до 99 [9].

3) В программной документации наблюдается преимущество текстовых форм представления информации, поскольку в ней доминируют документы описательного характера, такие как [2]:

- руководство оператора;
- описание применения;
- руководство программиста и прочее.

В конструкторской документации преимущество табличных форм представления информации, а так же различных чертежей. К таким документам относятся [10]:

- сборочный чертеж;
- схема;
- ведомость ссылочных документов;
- ведомость спецификаций и прочее.

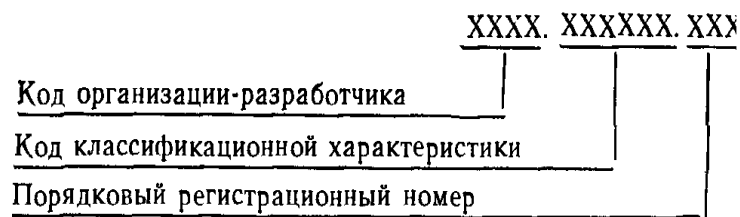
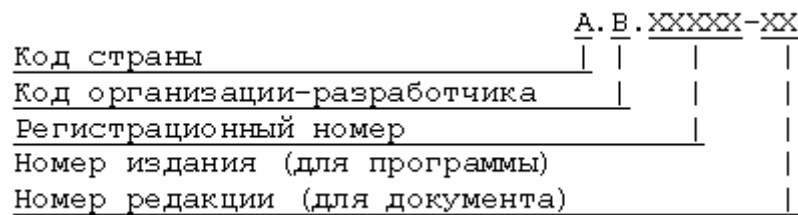
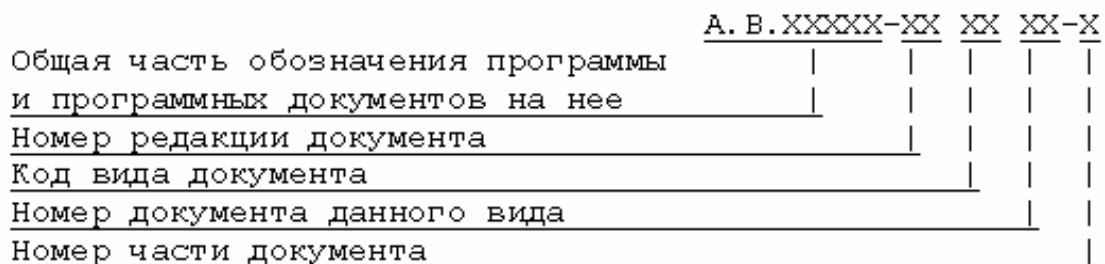


Рис. 1. Обозначение основного конструкторского документа



а)



б)

Рис. 2 – структура обозначения программного документа: а) обозначение основного документа; б) обозначение остальных документов

*Примечание: основным документом как в конструкторской, так и в программной документации является «Спецификация», которая содержит в себе обозначения и наименования всех документов на изделие или программный продукт*

С учетом специфики основными принципами унификации производственных и эксплуатационных документов являются:

- унификация от общего к частному. Этот принцип основывается на создании формуляра-образца документов для конкретной системы документации и установление ее реквизитов;

- информативность. Этот принцип заключается в том, что выполняется включение в документ только тех реквизитов, которые нужны для решения конкретных задач. Информативность определяется на втором этапе унификации, как и единообразие форм документов ;
- единообразие форм документов и правила их построения, составления, оформления. Это обеспечивается путем максимальной типизации документов, унификации расположения данных на поле документа. В сочетании с принципом информативности достигается оптимальная форма представления документа;
- сокращение числа видов документа. Это достигается за счет совершенствования методов управления. Определение вида и числа документов достаточных изготовления и выпуска изделия;
- стабильность требований к документам путем введения стандартов. В рамках предприятия или работы необходимо обозначить применяемые нормативные документы. Если в них не даны однозначные руководства или же нормативные документы носят рекомендательный характер, то следует в частном порядке принять решение об обязательности их применения. Нормативные документы на предприятии должны применяться полностью с учетом всех приложений и дополнений. Применение только одного пункта недопустимо;
- экономичность. Это достигается за счет обоснованного включения документов в систему документации;
- комплексность унификации. В данном принципе учитываются все требования к документу на всех стадиях разработки. При ее проведении должны учитываться психофизические возможности человека: возможность воспринимать определенный объем и представление информации, удобство формата документа, визуальное комфортное расположение атрибутов и прочее - все это должно учитываться в комплексе при унификации документации.

Применение указанных принципов унификации на всех уровнях создания документации позволит повысить уровень качества выпускаемой документации и упростить процесс ее создания

### Литература

- 1 ГОСТ Р 1.0-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения [Текст]. – Взамен ГОСТ Р 1.0-98; введ. 2004-12-30. – М.: Стандартинформ, 2007. – 12 с
- 2 ГОСТ 19.101-77 Единая система программной документации. Виды программ и программных документов [Текст]. –введ. 1980-01-01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 4 с
- 3 ГОСТ 2.601-2006 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы [Текст]. – Взамен ГОСТ 2.601-95; введ. 1980-01-01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 35 с
- 4 Управление персоналом [Электронный ресурс] Кузнецова Т.В. Основные направления унификации документов на современном этапе – Электрон, дан. – М.: Рос. гос. б-ка, 1997 Режим доступа: <http://www.top-personal.ru> – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- 5 ГОСТ 2.104-2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи [Текст]. – Взамен ГОСТ 2.104-68; введ. 2006-09-01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 16 с

- 6 ГОСТ 19.104-78 Единая система программной документации. Основные надписи [Текст]. –введ. 1980-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010. – 5 с
- 7 ГОСТ 2.301-68 Единая система конструкторской документации. Форматы [Текст]. –введ. 1971-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010. – 4 с
- 8 ГОСТ 2.201-80 Единая система конструкторской документации. Обозначение изделий и конструкторских документов [Текст]. –введ. 1984-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010. – 13 с
- 9 ГОСТ 19.103-77 Единая система программной документации. Обозначение программ и программных документов [Текст]. - введ. 1980-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010. - 2 с
- 10 ГОСТ 2.102 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов [Текст]. - введ. 1971-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010. - 12 с

УДК [517.938 + 519.713 / .718]: 621.398

## ПРОБЛЕМА КОММУТАЦИИ СТРУКТУРЫ ПРОСТРАНСТВА ЛИНЕЙНЫХ ДВОИЧНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.В. Ушаков, Е.С. Яицкая

Рассматриваются проблемы построения двоичных динамических систем с линейно коммутируемой структурой пространства их матрицы состояния с помощью нелинейно формируемого сигнала. Предлагаются алгоритмы синтеза таких двоичных динамических систем. Приводится иллюстративный пример.

**Ключевые слова:** двоичная динамическая система, линейно коммутируемая структура пространства, сигнал коммутации, основная конъюнкция вектора состояния

### Введение. Постановка задачи

В теории и практике двоичных динамических систем (ДДС) сформировались две версии [1, 2] их синтеза, которые развиваются по законам системной диалектики практически независимо друг от друга. Первая версия – нелинейная – в основном разрабатывается в рамках задач вычислительной техники и чаще именуется конечными (микропрограммными) автоматами [3]. Вторая версия – линейная – в основном разрабатывается в рамках задач линейного помехозащитного преобразования кодов [4, 5]. Эта ветвь теории и практики ДДС использует для аналитического описания динамических процессов в них рекуррентные векторно-матричные представления вида

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k), \quad x(0); \quad y(k) = Cx(k) + Nu(k). \quad (1)$$

Из соотношения (1) видно, что для реализации линейных двоичных динамических систем (ЛДДС) следует иметь блок памяти, реализуемый на  $D$ -триггерах, и комбинационную схему, реализуемую на сумматорах по модулю два и «усилителях» векторных двоичных переменных с матричными коэффициентами передачи  $A, B, C, N$ .  $D$ -триггеры представляют собой элементы задержки на интервал длительности  $\Delta t$ , то есть на один такт и аналитически задаются передаточной функцией  $\Phi(d) = d$ . В выражении (1) переменные  $x, u, y, k$  имеют смысл переменных: соответственно векторов состояния, входа, выхода и дискретного времени, выраженного в числе интервалов дискретности длительности  $\Delta t$ ; размерности векторных переменных:  $\dim x = n$ ,  $\dim u = r$ ,  $\dim y = m$ ;  $A, B, C, N$  – соответственно матрица состояния, матрица входа, матрица выхода и матрица вход-выход, размерности которых согласованы с размерностями переменных. Модельное представление (1) носит

название «рекуррентное», пошаговое использование которого приводит к «суммарному» аналитическому представлению ЛДДС, являющегося решением системы (1)

$$x(k) = \mathbf{A}^k x(0) + \sum_{i=0}^{k-1} \mathbf{A}^i \mathbf{B} u(k-1-i), \quad y(k) = \mathbf{C} x(k) + \mathbf{H} u(k).$$

Следует заметить, что в теории и практике ДДС существуют «пограничные» задачи, решение которых приводит к необходимости изменения структуры пространства ДДС вида (1). Они сводятся в основном к организации перехода ДДС из некоторого конкретного исходного состояния  $x(k)$  в некоторое требуемое состояние перехода  $x(k+1)$  под действием некоторого служебного сигнала коммутации  $u_k$ .

Анализ представления (1) обнаруживает возможность решения этой задачи в среде ЛДДС в форме линейно коммутируемой структуры пространства матрицы состояния  $\mathbf{A}$ , вводимого в нее с помощью дополнительной матрицы входа  $\mathbf{B}_k$  и нелинейно сформированного дополнительного сигнала  $u_k$ , который в дальнейшем будем именовать сигналом коммутации.

В соответствии со сказанным, ЛДДС с линейно коммутируемой структурой принимают вид

$$x(k+1) = \mathbf{A} x(k) + \mathbf{B}_k u_k, \quad (2)$$

$$x(k+1) = \mathbf{A} x(k) + \mathbf{B} u(k) + \mathbf{B}_k u_k \quad (3)$$

соответственно для автономной версии системы и версии системы, возбуждаемой ненулевой входной последовательностью  $u(k)$ .

Предметом статьи являются формирование аналитических представлений

$$\mathbf{B}_k = \mathbf{B}_k(\mathbf{A}, x(k+1), x(k), \mathbf{B}, u(k) = 0) = \mathbf{B}_k(\mathbf{A}, x(k+1), x(k)),$$

$$\mathbf{B}_k = \mathbf{B}_k(\mathbf{A}, x(k+1), x(k), \mathbf{B}, u(k) = 1)$$

в предположении, что в (2), (3) обеспечено выполнение равенства

$$u_k = 1; \quad (4)$$

и поиск структурных и сигнальных способов формирования сигнала коммутации  $u_k$ .

### Основной результат

#### Формирование аналитических представлений для матриц входа ЛДДС линейной коммутации структуры ее пространства состояния

Для решения поставленной задачи сформулируем следующие утверждения.

Утверждение 1 (У.1). Если ЛДДС автономна, то есть описывается соотношением (2), при этом заданы вектор состояния перехода  $x(k+1)$  и вектор исходного состояния  $x(k)$ , а также выполняется условие (4), то матрица коммутирующего входа  $\mathbf{B}_k$ , с помощью которой осуществляется переход из  $x(k)$  в  $x(k+1)$ , определяется выражением

$$\mathbf{B}_k \Big|_{u(k)=0} = \mathbf{B}_k 0 = x(k+1) + \mathbf{A} x(k). \quad \square (5)$$

Доказательство утверждения строится на использовании соотношения (2) в предположении заданных  $x(k+1)$ ,  $x(k)$  и  $u_k = 1$  с последующим разрешением (2) относительно матрицы  $\mathbf{B}_k$ . ■

Утверждение 2 (У.2). Если ЛДДС возбуждается ненулевой входной последовательностью  $u(k)$  так, что она описывается соотношением (3), при этом заданы вектор состояния перехода  $x(k+1)$  и вектор исходного состояния  $x(k)$ , а также

выполняется условие (4), то матрица коммутирующего входа  $\mathbf{B}_k$ , с помощью которой осуществляется переход из  $x(k)$  в  $x(k+1)$ , определяется выражением

$$\mathbf{B}_k = x(k+1) + \mathbf{A}x(k) + \mathbf{B}u(k). \quad \square (6)$$

Доказательство утверждения строится на использовании соотношения (3) в предположении заданных  $x(k+1)$ ,  $x(k)$  и  $u_k = 1$  с последующим разрешением (3) относительно матрицы  $\mathbf{B}_k$ . ■

Примечание 1 (П.1). Из выражения (6) видно, что структура матрицы коммутирующего входа  $\mathbf{B}_k$  зависит от значения входной последовательности  $u(k)$  на момент коммутации так, что при  $u(k) = 0$  имеет вид (5), а при  $u(k) = 1$  –

$$\mathbf{B}_k|_{u(k)=1} = \mathbf{B}_{k1} = x(k+1) + \mathbf{A}x(k) + \mathbf{B}. \quad (7)$$

Примечание 2 (П.2). Нетрудно видеть, что введение двух матриц коммутации (5) и (7) делает сигнал коммутации  $u_k$  векторным  $u_k = [u_{k0} \ u_{k1}]^T$ , в котором элемент  $u_{k0}$  подается в систему (3) через матрицу коммутации  $\mathbf{B}_{k0}$ , а элемент  $u_{k1}$  – через матрицу коммутации  $\mathbf{B}_{k1}$ .

Примечание 3 (П.3). Из выражений (5) и (6) видно, что переход из  $x(k)$  в  $x(k+1)$  невозможен, если на них выполняются условия соответственно  $x(k+1) + \mathbf{A}x(k) = \mathbf{O}$  и  $x(k+1) + \mathbf{A}x(k) + \mathbf{B}u(k) = \mathbf{O}$ , то есть если  $x(k)$  – собственный вектор матрицы  $\mathbf{A}$  при  $u(k) = 0$  и если  $\{x(k+1), x(k)\} = \arg\{x(k+1) + \mathbf{A}x(k) = \mathbf{B}\}$  при  $u(k) = 1$ .

#### Формирование сигналов коммутации структуры пространства состояния линейных двоичных динамических систем

Определение 1 (О.1). Основной конъюнкцией  $\&\{\bullet\}$  набора  $\bullet = (x_1, x_2 \dots x_i \dots x_n)$  двоичных переменных называется конъюнкция, которая на данном наборе принимает единичное значение  $\&\{\bullet\} = 1$ . □

Перенесем это определение с набора булевых переменных на вектор, составленный из тех же переменных.

Определение 2 (О.2). Основной конъюнкцией  $\&\{*\}$  вектора  $(*) = (x(k))$ , составленного из элементов  $x_i \in GF(2) = \{0; 1\}$ , будем называть конъюнкцию, которая на данном наборе двоичных переменных принимает единичное значение  $\&\{*\} = 1$ . □

Сформулируем утверждения для сигнала коммутации  $u_k$  для различных ДДС: автономной системы и системы с вынуждающей входной последовательностью.

Утверждение 3 (У.3). Сигнал коммутации  $u_k$  для автономной ДДС может быть сформирован в виде основной конъюнкции исходного вектора состояния  $x(k)$ . □

Доказательство. Рассмотрим автономную систему (2), с введенным в нее сигналом коммутации  $u_k$ . На момент коммутации, т.е. на момент начала перехода из исходного состояния  $x(k)$ , сигнально представлено только состояние  $x(k)$ . На векторе  $x(k)$  получить скалярный сигнал единичного значения гарантировано можно, формируя основную конъюнкцию этого вектора  $u_k = \&\{x(k)\}$ . ■

Утверждение 4 (У.4). Компоненты сигнала коммутации  $u_k = [u_{k0} \ u_{k1}]^T$  для версии ДДС (3) при наличии входной последовательности  $u(k)$  могут быть сформированы в виде

$$u_{k0} = \&\{\bar{u}(k), \&\{x(k)\}\}, \quad u_{k1} = \&\{u(k), \&\{x(k)\}\}. \quad \square (8)$$

Доказательство утверждения строится по аналогии с доказательством утверждения У.3. ■

Схема формирования сигнала коммутации для версии ДДС (9) представлена на рис. 1.

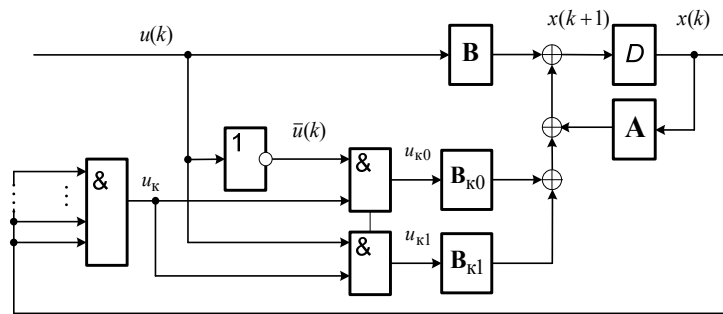


Рис. 1. Схема формирования сигнала коммутации для версии ДДС при наличии входной последовательности  $u(k)$ :  $D$  – многомерный  $D$ -триггер

Представим алгоритмы формирования матрицы входа  $\mathbf{V}_k$  и скалярного сигнала коммутации  $u_k$  для двух случаев реализации ЛДДС.

**Алгоритм 1 (А.1) формирования матрицы входа  $\mathbf{V}_k$  и сигнала коммутации  $u_k$  для версии ЛДДС при отсутствии входной последовательности**

1. Составить структуру циклов и неподвижных состояний по исходному векторно-матричному описанию (ВМО) автономной версии ЛДДС  $x(k+1) = \mathbf{A}x(k)$  с помощью графа переходов или таблицы состояний.
2. Задать два набора векторов состояний: один из которых является набором  $\{x(k)\}$  исходных состояний  $x(k)$ , из которых в силу решаемой задачи требуется осуществить переход, а другой – набор  $\{x(k+1)\}$  состояний перехода  $x(k+1)$ , в которые требуется осуществить переход в силу решаемой задачи, организовав на этих наборах пары, задействованные в переходах.
3. Сформировать согласно утверждению У.3 набор  $\{u_k\}$  сигналов коммутации  $u_k = \&\{x(k)\}$ .
4. Вычислить набор  $\{\mathbf{V}_k\}$  матриц коммутирующих входов  $\mathbf{V}_k$  в форме (5).
5. Составить векторно-матричное описание полученного устройства коммутации в форме (2).
6. Осуществить проверку правильности функционирования устройства.
7. Осуществить техническую реализацию. ■

**Алгоритм 2 (А.2) формирования матрицы входа  $\mathbf{V}_k$  и сигнала коммутации  $u_k$  для версии ЛДДС, возбуждаемой произвольной входной последовательностью**

1. Составить структуры циклов и неподвижных состояний оптимального  $(n, k)$ -кода по исходному ВМО версии ЛДДС  $x(k+1) = \mathbf{A}x(k) + \mathbf{V}u(k)$  с помощью графов переходов или таблиц состояний для случаев  $u(k) = 0$  и  $u(k) \neq 0$  ( $u(k) = 1$ ).
2. Задать два набора векторов состояний: один из которых является набором  $\{x(k)\}$  исходных состояний  $x(k)$ , из которых в силу решаемой задачи требуется осуществить переход, а другой – набор  $\{x(k+1)\}$  состояний перехода  $x(k+1)$ , в которые требуется

осуществить переход в силу решаемой задачи, организовав на этих наборах пары, задействованные в переходах.

3. Сформировать согласно утверждению У.4 набор  $\{u_{к0}\}$  сигналов коммутации в форме (8) для случая  $u(k) = 0$ .
4. Вычислить набор  $\{\mathbf{B}_{к0}\}$  матриц коммутирующего входа  $\mathbf{B}_{к0}$  в форме (5).
5. Сформировать согласно утверждению У.4 набор  $\{u_{к1}\}$  сигналов коммутации в форме (8) для случая  $u(k) \neq 0$  ( $u(k) = 1$ ).
6. Вычислить набор  $\{\mathbf{B}_{к1}\}$  матриц коммутирующего входа  $\mathbf{B}_{к1}$  в форме (7).
7. Составить векторно-матричное описание полученного устройства коммутации в форме (3).
8. Осуществить проверку правильности функционирования устройства.
9. Осуществить техническую реализацию. ■

**Пример**

В качестве примера рассматривается устройство управления приемом помехозащищенного кода, помехозащита которого реализуется в форме режима «обнаружение», причем формат кода составлен из помехозащищенных кодовых компонентов, сформированных в соответствии с рис. 2.

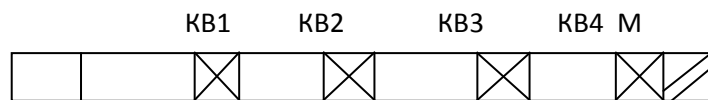


Рис. 2 – Формат передаваемого помехозащищенного кода

На рис. 2: СИ – синхроимпульс;  $K\{КП\} = (n_1, k_1)$ ;  $m_1 = n_1 - k_1$  – код номера контролируемого пункта (КП);  $K\{ФА\} = (n_2, k_2)$ ;  $m_2 = n_2 - k_2$  – код функционального адреса (ФА);  $K\{ОТМ\} = (n_3, k_3)$ ;  $m_3 = n_3 - k_3$  – код номера объекта телемеханизации (ОТМ);  $K\{ХК\} = (n_4, k_4)$ ;  $m_4 = n_4 - k_4$  – код характера команды; КВ – квитанция; М – маркер;  $n_i$  – полное число разрядов кода,  $k_i$  – число информационных разрядов кода;  $m_i$  – число проверочных разрядов кода. Приведенный формат ПЗК рассчитан на следующие исходные данные: число КП на один пункт управления (ПУ)  $N_{кп} = 20$ ; число ОТМ  $N_{отм} = 30$ ; число уставок, передаваемых ОТМ (характер команды)  $N_{хк} = 50$ ; категория системы телемеханики – III ( $P_{доп} \leq 10^{-7}$ ); модель двоичного канала связи –  $p_{10} = p_{01} = 10^{-5}$ ; режим помехозащиты – обнаружение; структура кода – байтовая. В итоге:  $(n_1, k_1) = (16, 5)$ ,  $(n_2, k_2) = (8, 3)$ ,  $(n_3, k_3) = (16, 5)$ ,  $(n_4, k_4) = (16, 6)$ , число служебных разрядов кода (четыре квитанции и маркер) составляет величину  $n_c = 5$ ,

$$\text{полное число разрядов кода } n_{\Sigma} = \sum_{i=1}^4 n_i + n_c = 61.$$

Нетрудно видеть, что разрабатываемое устройство управления приемом помехозащищенного кода, по существу является распределителем импульсов (РИ), представляющий собой двоичную динамическую систему, генерирующую на своих  $n_{\Sigma}$  выходах  $n_{\Sigma}$ -разрядные распределительные коды, который дополнен линейными цепями коммутации структуры пространства путем нелинейно формируемого сигнала в связи с характером приема ПЗК в режиме обнаружение. Базовая структура устройства



генерирует последовательность длины  $n_{\Sigma}$  как периодическую последовательность этой длины и строится в виде автономной ЛДДС вида  $x(k+1) = Ax(k)$ , где матрица состояния  $A$  имеет вид  $A = \begin{bmatrix} \mathbf{O}_{60 \times 1} & \mathbf{I}_{60 \times 60} \\ 1 & \mathbf{O}_{1 \times 60} \end{bmatrix}$ . Следуя алгоритму А.1 получим:

1. таблицу состояний;

Таблица. Структура циклов и неподвижных состояний системы

$k$	$x^T(k)$	$k$	$x^T(k)$	$k$	$x^T(k)$
0	$[\mathbf{O}_{1 \times 61}]^T$	...	...	4 4	$[\mathbf{O}_{1 \times 17} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 43}]$
1	$[\mathbf{O}_{1 \times 60} \ 1]^T$	2 5	$[\mathbf{O}_{1 \times 36} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 24}]$	...	...
2	$[\mathbf{O}_{1 \times 59} \ 1 \ 0]^T$	2 6	$[\mathbf{O}_{1 \times 35} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 25}]$	5 9	$[0 \ 0 \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 58}]^T$
...	...	2 7	$[\mathbf{O}_{1 \times 34} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 26}]$	6 0	$[0 \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 59}]^T$
1 6	$[\mathbf{O}_{1 \times 45} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 15}]$	...	...	6 1	$[1 \ \mathbf{O}_{1 \times 60}]^T$
1 7	$[\mathbf{O}_{1 \times 44} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 16}]$	4 2	$[\mathbf{O}_{1 \times 19} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 41}]$	–	–
1 8	$[\mathbf{O}_{1 \times 43} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 17}]$	4 3	$[\mathbf{O}_{1 \times 18} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 42}]$	–	–

2. набор векторов исходных состояний  $\{x(17), x(26), x(43), x(60), x(61)\}$ , из которых требуется осуществить переход в набор векторов требуемых состояний  $\{x(1), x(18), x(27), x(44), x(0)\}$ ;

3. набор сигналов коммутации согласно утверждению У.3

$$u_{\mathbf{K}1} = \&\{x(17)\} = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots x_{45} \bar{x}_{46} \dots \bar{x}_{61}; \quad u_{\mathbf{K}2} = \&\{x(26)\} = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots x_{36} \bar{x}_{37} \dots \bar{x}_{61};$$

$$u_{\mathbf{K}3} = \&\{x(43)\} = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots x_{19} \bar{x}_{20} \dots \bar{x}_{61}; \quad u_{\mathbf{K}4} = \&\{x(60)\} = \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \dots \bar{x}_{61};$$

$$u_{\mathbf{K}5} = \&\{x(61)\} = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \dots \bar{x}_{61};$$

4. набор матриц коммутирующих входов

$$\mathbf{B}_{\mathbf{K}1} = [\mathbf{O}_{1 \times 43} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 16} \ 1]^T; \quad \mathbf{B}_{\mathbf{K}2} = [\mathbf{O}_{1 \times 34} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 8} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 17}]^T;$$

$$\mathbf{B}_{\mathbf{K}3} = [\mathbf{O}_{1 \times 17} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 25} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 17}]^T; \quad \mathbf{B}_{\mathbf{K}4} = [1 \ \mathbf{O}_{1 \times 16} \ 1 \ \mathbf{O}_{1 \times 43}]^T;$$

$$\mathbf{B}_{\mathbf{K}5} = [\mathbf{O}_{1 \times 60} \ 1]^T;$$

5. векторно-матричное описание полученного устройства коммутации получает представление  $x(k+1) = Ax(k) + \mathbf{B}_{\mathbf{K}1} u_{\mathbf{K}1} + \mathbf{B}_{\mathbf{K}2} u_{\mathbf{K}2} + \mathbf{B}_{\mathbf{K}3} u_{\mathbf{K}3} + \mathbf{B}_{\mathbf{K}4} u_{\mathbf{K}4} + \mathbf{B}_{\mathbf{K}5} u_{\mathbf{K}5}$ ;

6. проверка правильности функционирования осуществляется на базе гипотезы, что при передаче кода номера КП произошла обнаруживаемая ошибка. Очевидно, в этом случае прием кодового номера КП должен сопровождаться запросом на повторение

передачи этого кода, что обеспечивается переходом из состояния  $x(17)$  в  $x(1)$ . То есть имеем

$$x(k+1) = \mathbf{A}x(k) + \mathbf{B}_{k1}|_{k=17} = \begin{bmatrix} \mathbf{O}_{60 \times 1} & \mathbf{I}_{60 \times 60} \\ 1 & \mathbf{O}_{1 \times 60} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{O}_{44 \times 1} \\ 1 \\ \mathbf{O}_{16 \times 1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{O}_{43 \times 1} \\ 1 \\ \mathbf{O}_{16 \times 1} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{O}_{60 \times 1} \\ 1 \end{bmatrix} = x(1).$$

### Заключение

Предложенная в статье алгоритмическая среда позволяет конструктивно расширить функциональные возможности линейных двоичных динамических систем введением дополнительных линейных цепей коммутации структуры пространства состояния ЛДДС с помощью нелинейно формируемых сигналов.

### Литература

1. Ушаков А.В., Яицкая Е.С. Рекуррентное систематическое помехозащитное преобразование кодов: возможности аппарата линейных двоичных динамических систем//Изв. Вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 03. С.17–25.
2. Баранов С.И. Синтез микропрограммных автоматов. – Л.: Энергия, 1979. – 232 с.
3. Бохман Д., Постхофф Х. Двоичные динамические системы. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 400 с.
4. Гилл А. Линейные последовательностные машины. – М.: Наука, 1974. – 288 с.
5. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. – М.: Мир, 1976. – 600 с.

УДК 001.53

### **О КОНКУРСЕ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ СПЕЦИАЛИСТОВ, БАКАЛАВРОВ И МАГИСТЕРСКИХ ДИССЕРТАЦИЙ «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. ОПТОТЕХНИКА. ФОТОНИКА И ОПТОИНФОРМАТИКА» В 2011 ГОДУ** С.С. Гвоздев, Е.В. Попова, И.В. Яковлева

В течение многих лет наш университет проводит Всероссийский конкурс выпускных квалификационных работ специалистов, бакалавров и магистерских диссертаций по направлениям подготовки «Приборостроение. Опотехника. Фотоника и оптоинформатика» (КВКР), 2011 год не стал исключением. Статистика последних трех лет говорит о том, что конкурс набирает популярность среди высших учебных заведений Российской Федерации. В 2009 году в конкурсе принимали участие 29 работ 10 ВУЗов из 9 городов России [1]. В 2010 году количество работ еще увеличилось – 44 работы 7 ВУЗов из 6 городов России [2]. Результаты 2011 года – 59 работ 13 ВУЗов из 9 городов России [3],[4].

Из 59 работ-участников значительная доля приходится на магистерские диссертации. Всего на конкурс поступило 42 магистерских диссертации из одиннадцати различных ВУЗов и 17 работ бакалавров из семи различных вузов.

Основными показателями для предварительной рецензии поступивших на конкурс работ стали:

- Оригинальность и новизна технических решений и методик;

- Полнота решения поставленной задачи;
- Наличие оценки погрешностей достижения целей работы;
- Оценка степени полноты решения поставленной задачи;
- Наличие анализа результатов работы;
- Новизна используемой научно-технической информации;
- Качество оформления;
- Апробация результатов работы, практическая ценность.

В ходе предварительной рецензии выпускных квалификационных работ бакалавров большое внимание привлекли сразу несколько пунктов:

Во-первых, в рассмотренных работах появилось 3D-моделирование.

Во-вторых, в некоторых работах патентно-информационный поиск был выполнен очень подробно, в соответствии с требованиями ГОСТа. К сожалению, не во всех работах в конце каждой главы пояснительной записки приведен вывод по представленному материалу. Из 17 представленных работ только в 6 были указаны ссылки на материалы Internet. Особенно следует отметить работы, в которых присутствует индивидуальный стиль изложения материала.

При проведении предварительной рецензии магистерских диссертаций большое внимание было уделено таким пунктам, как апробация предварительных результатов работы и практическая ценность работы. Из 42-х представленных на конкурс магистерских диссертаций 25 работ имеют публикации, три работы имеют зарегистрированные отчеты, в материалах двух работ имеются документа о внедрении или практическом использовании результатов работы, выступления по тематике работы на конференциях имеются у 17 участников, авторы 11 работ имеют гранты и различные награды. По сравнению с КВКР прошлых лет значительно выросли следующие показатели работ:

- наличие общих выводов (42 работы);
- наличие анализа поставленной задачи(41 работа);
- наличие презентации(23 работы).

В составе списка использованных источников повысилось количество собственных публикаций авторов, так же значительно улучшилось качество выполнения работ.

Методика проведения предварительной рецензии работ совершенствуется с каждым годом. Появляются новые показатели оценки работ, исключаются устаревшие.

Нельзя оставить без внимания тот факт, что большинство работ было написано доступным научным языком. Результаты конкурса регулярно обсуждаются на совете Учебно-методического объединения по образованию в области Приборостроения и оптотехники, награду участников конкурса вручаются представителям ВУЗов на заседании совета Учебно-методического объединения.

### Литература

1. Гвоздев С.С., Никифоров В.О., Хамитова Л.А. Сообщение о конкурсах выпускных квалификационных работ специалистов, бакалавров. Магистров «Приборостроение. Оптотехника. Фотоника и оптоинформатика» 2009 г. // Известия вузов. Приборостроение. 20010, Т. 53, №1, С.76-77.
2. Гвоздев С.С., Попова Е.В. Конкурсы выпускных квалификационных работ: итоги и перспективы. Сборник трудов конференции «Оптика и образование-2010» / под общ. ред. проф. А.А. Шехонина. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010, С.133-134.
3. Гвоздев С.С., Никифоров В.О., Яковлева И.В. Всероссийский конкурс студенческих научных работ по разделу «Опτικο-электронные приборы и комплексы, оптические

- и лазерные технологии». Сборник трудов конференции «Оптика и образование-2010» / под общ. ред. проф. А.А. Шехонина – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010, С.134–135.
4. Гвоздев С.С., Никифоров В.О., Попова Е.В. Сообщение о конкурсах выпускных квалификационных работ специалистов, бакалавров. Магистров «Приборостроение. Опотехника. Фотоника и оптоинформатика» 2010 г. // Известия вузов. Приборостроение. 2011, Т. 54 №3, С.87–88.

**НАУЧНЫЕ РАБОТЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«НАСЛЕДИЕ М.В. ЛОМОНОСОВА.  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ  
И ТЕХНИКИ, РЕШАЕМЫЕ МОЛОДЫМИ  
УЧЕНЫМИ НИУ ИТМО»  
И КОНКУРСОВ  
«МОЛОДЫЕ УЧЕНЫЕ НИУ ИТМО»  
И «УЧЕНЫЙ ГОДА-2011»**

УДК 537.29

## **ПРЕЦИЗИОННОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И ФИКСАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ ПОД ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

**А.И. Денисюк, Ф.Э. Комиссаренко**

В работе представлен новый метод перемещения и фиксации диэлектрических наночастиц. Данный метод основывается на электростатическом взаимодействии между объектами, заряжающимися под электронным пучком. В экспериментах со сферическими наночастицами полистирола диаметром 120 нм одиночные частицы зафиксированы на остриях вольфрамовых игл.

Наряду с развитием методов создания наноструктур важной задачей нанотехнологий является прецизионное перемещение и фиксация нанообъектов. Метод оптического (лазерного) пинцета является исторически первой реализацией прецизионного перемещения микро- и наночастиц. В настоящее время этот метод [1, 2] достаточно развит, и с его помощью можно создавать различные устройства опто- и наноэлектроники, биологические и химические сенсоры и элементы. В основе метода лежит взаимодействие электрического поля световой волны с индуцированным дипольным моментом микро- или наночастиц, в результате этого частица смещается вдоль градиента электрического поля волны. Данный метод весьма успешно работает при прецизионном перемещении микрочастиц, однако он не вполне пригоден для манипулирования наночастицами с размерами меньше длины волны управляющего лазера.

Прецизионное перемещение наночастиц возможно с помощью различных типов сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ). В данных приборах для перемещения наночастиц могут быть задействованы различные механизмы взаимодействия зонда с частицей: механическое [3], химическое [4–6], электростатическое [7]. Более того, в СЗМ возможно не только осуществлять прецизионное перемещение наночастиц по подложке, но фиксировать наночастицу на острие зонда микроскопа. Тем самым можно создавать различные функциональные наноструктуры, такие как специализированные зонды для СЗМ, обладающие уникальными характеристиками [4–6]. Существенным недостатком всех методов манипулирования наночастицами в СЗМ является отсутствие возможности непосредственной визуализации процесса и результата перемещения и фиксации наночастицы. Данная возможность реализуется в электронном микроскопе, снабженном микроманипулятором. Однако существующие в настоящее время работы по манипулированию частицами в электронном микроскопе [8, 9] описывают лишь возможность перемещения и фиксации крупных частиц микронного и субмикронного размера и основываются на механическом взаимодействии микроманипулятора с образцом.

В данной работе предложен новый метод прецизионного манипулирования наночастицами, который был реализован в электронном микроскопе. Сфокусированный электронный пучок микроскопа сообщает локальный заряд наночастицам для их перемещения за счет электростатического взаимодействия, при этом весь процесс и результат перемещения визуализируется на электронных изображениях в микроскопе в реальном времени.

Экспериментальные исследования проводились со сферическими наночастицами полистирола диаметром 120 нм. Частицы были диспергированы на кремниевой подложке, которая затем была помещена в камеру электронного микроскопа Neon 40 EsB (фирмы Carl Zeiss). Данный микроскоп дополнительно оборудован

пьезоэлектрическим микроманипулятором. Для проведения экспериментов по манипулированию наночастицами к подвижной части микроманипулятора было приклеена заостренная вольфрамовая игла, полученная с помощью электрохимической заточки вольфрамовой проволоки до радиуса скругления острия порядка 100 нм. Важно, что вольфрамовая игла не была заземлена. Движение вольфрамовой иглы над подложкой с частицами полистирола можно было непосредственно отслеживать на электронном изображении (ускоряющее напряжение электронного пучка 5 кВ, ток 60 пА). Оказалось, что при подведении вольфрамовой иглы к наночастицам на подложке на расстояние порядка нескольких сотен нанометров, одна или несколько частиц притягивались к игле и фиксировались вблизи ее острия (рис. 1).

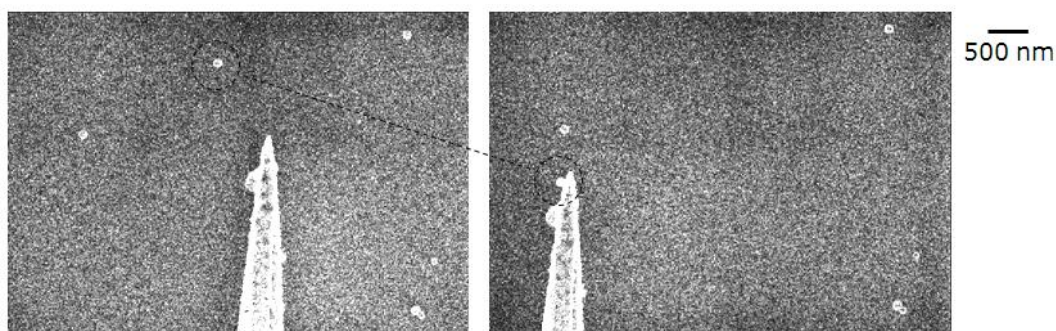


Рис. 1. Электронные изображения, иллюстрирующие фиксацию наночастицы полистирола на острие вольфрамовой иглы

Обнаруженный эффект фиксации диэлектрической наночастицы на острие металлической иглы, по-видимому, объясняется электростатическим взаимодействием иглы и частицы под электронным пучком. Диэлектрические наночастицы на подложке удерживаются силами Ван-дер-Ваальса. Незаземленная металлическая игла заряжается отрицательно под электронным пучком. Таким образом, вблизи острия иглы будет сильное градиентное электростатическое поле. Это поле поляризует диэлектрическую частицу и притягивает ее (движение диэлектрических частиц в градиентных электрических полях известно как «диэлектрофорез» [10]) – рис. 2, а.

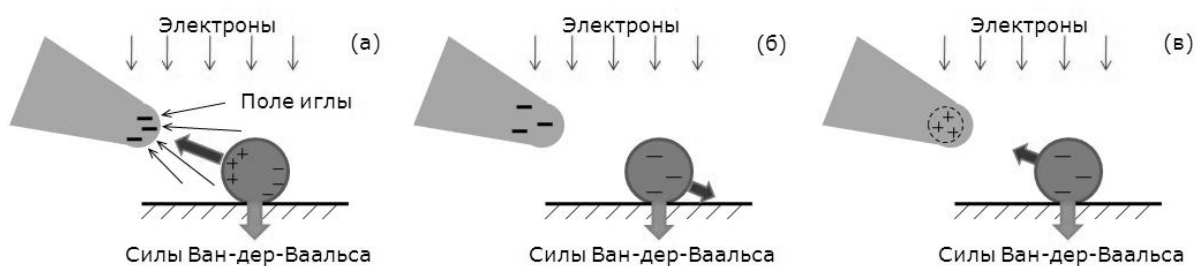


Рис. 2. Различные механизмы электростатического взаимодействия в системе игла-частица-подложка под электронным пучком

Однако нельзя не учесть тот факт, что диэлектрическая частица сама заряжается под электронным пучком отрицательно. Тогда будет иметь место отталкивание частицы от иглы при взаимодействии двух отрицательных зарядов (рис. 2, б). Наконец, еще один механизм связан с тем, что отрицательный заряд частицы создает свое

изображение в металлической игле. Таким образом, будет притяжение заряженной частицы к своему изображению (рис. 2, в).

В заключение в работе представлен новый метод прецизионного перемещения и фиксации наночастиц, основанный на электростатическом взаимодействии между объектами заряжающимися под электронным пучком. Данный метод может найти применение как при создании различных наноразмерных функциональных устройств на основе сборки из наночастиц (например, специализированные зонды для СЗМ), так и для исследования ван-дер-ваальсовых между различными нанообъектами.

### Литература

1. Neuman K.C., Block S.M. Optical trapping // Review of scientific instruments. – 2004. – Vol. 75. – P. 2787-2809
2. Dienerowitz M., Mazilu M., Dholakia K. Optical manipulation of nanoparticles: a review // Journal of Nanophotonics. – 2008. – Vol. 2. - P. 021875.
3. Sitti M., Hashimoto H. Controlled Pushing of Nanoparticles Modeling and experiments // IEEE/ASME transaction on mechatronics. – 2000. – Vol. 5. – P. 199-211.
4. Ducker W. A., Senden T. J., Pashley R. M. Direct measurement of colloidal forces using an atomic force microscope // Nature. – 1991. – Vol. 353. – P.239-241.
5. Лебедев Д.В., Чукланов А.П., Бухараев А.А., Дружинина О.С. Измерение модуля Юнга биологических объектов в жидкой среде с помощью специального зонда атомно-силового микроскопа // Письма в ЖТФ. – 2009. – С. 54-61.
6. Höppener C., Novotny L. Imaging of membrane proteins using antenna-based optical microscopy // Nanotechnology. – 2008. – Vol. 19. – P. 384012.
7. Grobelny J., Tsai D.-H., Kim D.-I., Pradeep N., Cook R. F., Zachariah M.R. Mechanism of nanoparticle manipulation by scanning tunnelling microscopy // Nanotechnology. – 2006. – V. 17. – P. 5519–5524.
8. Meyer E., Braun H.-G. Micro- and nanomanipulation inside the SEM // Journal of Physics: Conference Series. – 2008. – Vol. 126. – P. 012074.
9. Nakazato Y., Yuasa T., Sekine G., Miyazawa H., Jin M., Takeuchi S., Ariga Y., Murakawa M. Micromanipulation system using scanning electron microscope // Microsyst Technol. – 2009. – Vol. 15. – P. 859 – 864.
10. Kadaksham A. T. J., Singh P., Aubry N. Dielectrophoresis of nanoparticles // Electrophoresis. 2004. –V. 25. – P. 3625-3632.

УДК 681.2

## НАСЛЕДИЕ М. ЛОМОНОСОВА В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

В.А. Кузнецов

Руководитель – О.В. Игнатова

В истории развития нашего общества жили такие великие люди, как Михаил Васильевич Ломоносов. «Историк, ритор, механик, химик, минералог, художник и стихотворец, он все испытал и все проник...». Благодаря его заслугам в нашем обществе развиваются многие отрасли науки, искусства. В этом году мы отмечаем 300-летие со дня его рождения. Как сказал С.И. Вавилов, «если внимательно посмотреть назад, то станет ясно, что многие краеугольные камни успехов нашей науки были заложены в



прошлом именно Ломоносовым». Вот почему Ломоносов – знамя нашей культуры, живой образ славного культурного прошлого великой русской науки.

### Введение

Радиоэлектроника – это очень обширная наука, которая охватывает собой огромные области человеческого знания. Она занимается изучением способов передачи и преобразования информации. Радиоэлектроника, как и любая другая наука, не стоит на месте. Область человеческих знаний в сфере радиоэлектронных процессов и явлений постоянно расширяется. Относительно недавно появилось множество новых наук, непосредственно связанных с радиоэлектроникой: квантовая физика, микроэлектроника, полупроводниковая электроника, хемотроника, и некоторые другие науки.

### Наследие М.В. Ломоносова

На дворе 21 век. Век торжества электротехники и электроники – век, когда на нас работают миллионы всевозможных электрических машин, электронных аппаратов и приборов. Я живу в великолепном городе – Санкт-Петербурге. Именно этот город называют не только культурной, но и промышленной столицей России. Вся 300-летняя история города неразрывно связана с развитием промышленности, со стремительным строительством верфей, заводов и фабрик. На протяжении XIX, XX веков в городе развиваются практически все виды производственной деятельности. Из более 670 крупных и средних предприятий на долю производств электрооборудования, электронного и оптического оборудования приходится около 130 предприятий.

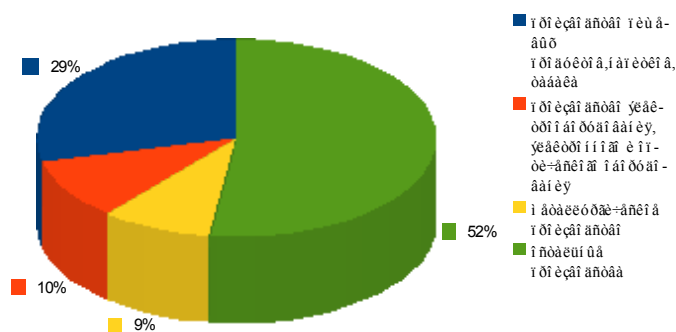


Рис. 1. Диаграмма производства

Петербургская промышленность реализует достижения научно-технического прогресса. В нашем городе было изобретено радио и выпущен первый телевизор. Сегодня радиоэлектронные предприятия сотрудничают с мировыми лидерами в области инновационных решений.

Но где же истоки всего этого?

М.В. Ломоносов был одним из немногих ученых, кто заложил фундамент науки об электричестве. Именно он впервые ввел понятие «электрический ток».

Проводя исследования явлений теплоты и света, Ломоносов уделял большое внимание изучению электрических явлений. Итоги своих наблюдений он изложил в своем труде «Теория электричества, разработанная математическим путем».

Свои опыты по электричеству М. Ломоносов проводил со своим другом, профессором Г. Рихманом, который заведовал в эти годы кабинетом физики в

Петербургской Академии наук. М. Ломоносов написал работы, посвященные исследованию атмосферного и статического электричества. И первые приборы, электроскоп и «электрический указатель», стали прообразами современных электроизмерительных приборов. С помощью такого прибора можно было измерить величины электричества, так как он был снабжен деревянным квадрантом со шкалой, разделенной на градусы.

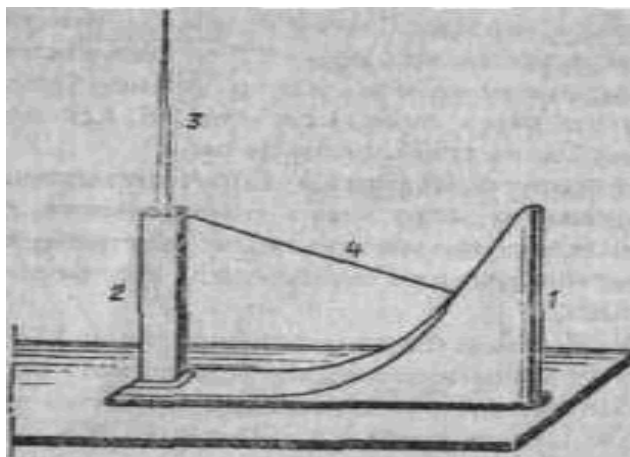


Рис. 2. «Электрический указатель»: 1- деревянный квадрант с делениями; 2- металлическая линейка; 3- металлический шест; 4- льняная нить

Г. Рихман конструирует у себя дома установку, с помощью которой можно будет измерить величину силы электрического поля при молнии и грозе. М. Ломоносов устраивает у себя подобную установку и, проводя на ней исследования, обнаруживает, что электрической поле существует в атмосфере и при отсутствии грозы.

К сожалению, опыты, проводимые Рихманом и Ломоносовым закончились трагически. 25 июня 1753 года Г.В. Рихман был убит ударом молнии, приблизившись к «электрическому указателю». После смерти друга М. Ломоносов продолжил свои исследования и, объясняя теорию электричества, сосредоточил свое внимание на таких проблемах:

- возникновение электричества за счет трения пылинок и других частиц воздуха с капельками воды;
- электричество как форма движения в эфире (прообраз электромагнитного поля, введенный М. Фарадеем);
- природа северного сияния;
- целесообразность широкого применения громоотводов.

Гений Ломоносова указал путь грядущим исследованиям:

- появление электроизмерительных приборов;
- заземление;
- передача, преобразование и хранение информации посредством электрических колебаний и электромагнитных волн;
- развитие таких отраслей науки и техники, как физика, электротехника, радиотехника и возникновение такой науки, как радиоэлектроника.

Наш город славится местами, увековеченными именем М.Ломоносова:

- памятник М.Ломоносову (скульпторы Б.А. Петров, В.Д. Свешников);

- усадьба Ломоносова на Мойке – Большая Морская, 61;



Рис. 3. Усадьба Ломоносова на Мойке – Большая Морская 61

- мост Ломоносова через Фонтанку;



Рис. 4. Мост Ломоносова через Фонтанку

- Ленинградский фарфоровый завод им.Ломоносова
- площадь Ломоносова.
- улица Ломоносова.

В наш век инновационных технологий не только промышленные производства, но и различные образовательные учреждения реализуют идеи Ломоносова.

Я учусь в профессиональном лицее № 130 им. В.Широкова. Моя будущая профессия – радиомеханик. Для успеха и развития нашей страны нужны знания и новые практические навыки работы. Именно эти идеи реализуются в нашем лицее. Наш лицей входит в ассоциацию предприятий радиоэлектроники, приборостроения, средств связи и инфотелекоммуникаций. Основными социальными партнерами являются: ССТ «Электроника», НПФ «Диполь», ООО «Радел», 521 военный завод, завод РТО, ЗТТ «Экран». Наши мастерские оснащены современным оборудованием. В производственном корпусе установлена высокотехнологическая линия поверхностного монтажа. В процессе изготовления плат имеются следующие технологические преимущества:

- Подготовка к запуску нового изделия осуществляется без остановки работы монтажной линии;
- Интеллектуальное управление складом хранения компонентов;
- Загрузчик печатных плат с функцией автоматической переналадки;
- Автоматическая настройка ширины конвейера;
- Нанесение паяльной пасты без трафарета;
- Высокая скорость нанесения паяльной пасты;
- Ликвидация понятия «переналадки принтера»;
- Решение «все в одном»;
- Интеллектуальные питатели;
- Отслеживаемость данных;
- Проверка номинала компонентов «на лету»;
- Функция автообучения корпусам компонентов.



Рис. 5. Высокотехнологическая линия поверхностного монтажа



Рис. 6. Регулировочная мастерская

При освоении профессии я научусь выполнять электрорадиомонтажные работы, собирать и монтировать печатные платы сквозного и поверхностного монтажа, контролировать сборку и монтаж РЭА и стану высококвалифицированным,

конкурентоспособным специалистом. Без знаний основных понятий электричества это невозможно сделать.

Сбылись пророческие слова Ломоносова о том, что настанет время и великое благо принесет человечеству сила электричества.

### **Заключение**

Радиоэлектроника тесно переплетается с жизнью каждого современного человека. Уже не существует такой области человеческой деятельности, где не приходилось бы иметь дело с радиотехническими и электротехническими процессами. Каждый из нас уже не представляет своей жизни без калькулятора, компьютера, Интернета. Каждый человек может, хотя бы на несколько секунд, приоткрыть дверь, ведущую в удивительный мир электрических процессов и явлений. И всякий, кто посмотрит на этот мир со стороны, удивится, насколько здесь слажено, все работает. Здесь для каждого есть свое место, которым он абсолютно доволен, тут каждый выполняет свою работу, и приносит тем самым максимальную пользу, как себе, так и всему своему микромиру в целом.

### **Литература**

1. Блудов М.И. Беседы по физике. – М.: Просвещение, 1984.
2. Кириллова И.Г. Книга для чтения по физике. – М.: Просвещение, 1978.
3. Промышленность С-Петербурга. – СПб: Издательство «Алес», 2010.
4. Шаблонский В.. Занимательная физика. – СПб: Тригон. 1997.
5. Сайт: <http://www.historydata.ru/index.php>

УДК 681.786

## **ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПОРШНЯ В ЦИЛИНДРЕ КЛАПАНА**

**Е.Н. Кулешова, А.А. Горбачев**

Рассмотрена оптико-электронная система для измерения линейных перемещений поршня в цилиндре клапана. С помощью математического моделирования проведен расчет погрешностей измерения перемещений в системе. Разработан лабораторный стенд и проведены эксперименты, результаты которых обработаны, проанализированы и представлены в виде графиков.

### **Введение**

Необходимость проверки работоспособности подвижных элементов оборудования возникает постоянно. Обычно подвижные элементы располагаются в труднодоступных местах, и проконтролировать их работу контактным способом во время движения не представляется возможным. Однако разработанная система способна решать подобные задачи, а именно – наблюдать в реальном времени за протекающими процессами, автоматизировать процесс снятия данных, реализовать оперативное и точное измерение бесконтактным способом и повысить достоверность получаемых данных. Основной задачей, решаемой при создании такого рода систем, является уменьшение погрешности прибора, которая составляет десятые, а в некоторых случаях и сотые доли миллиметра (диапазон контролируемых поперечных перемещений поршней клапанов или золотников вентилей при этом – десятки

миллиметров). Другая задача, которую необходимо решить, – это создание измерительной системы при ограниченных габаритных размерах [1, 2].

### Основные положения

Для решения задачи измерения линейных перемещений поршня в цилиндре клапана на кафедре оптико-электронных приборов и систем в Санкт-Петербургском государственном университете информационных технологий, механики и оптики была разработана оптико-электронная система. Разработанная конструкция оптико-электронной системы для измерения линейных перемещений (ОЭСИЛП) монтируется непосредственно на клапан, обладает малыми габаритными размерами и позволяет бесконтактным способом контролировать весь диапазон перемещения поршня в цилиндре клапана на заданном расстоянии.

Для исследования ОЭСИЛП на базе созданного макета был собран лабораторный стенд (рис. 1).

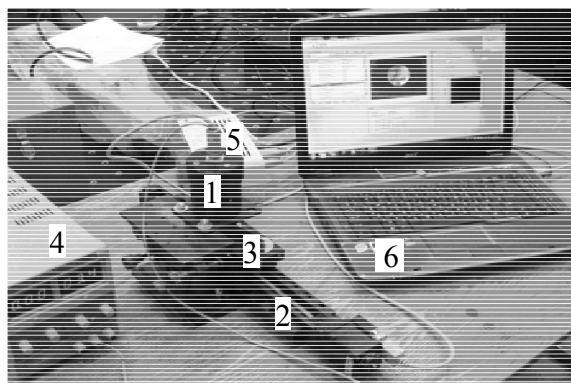


Рис. 1. Лабораторный стенд для исследования ОЭСИЛП

На рис. 1 представлены: ОЭСИЛП 1; электрическая подвижка 2, имитирующая перемещающийся поршень; контрольная метка (КМ) 3; блок питания 4 источников излучения (ИИ), расположенных в видеоблоке системы; блок питания 5 подвижки; компьютер 6 с программой обработки изображений.

Принцип работы такой системы заключается в следующем. ИИ создают первичное изображение на КМ, жестко закрепленной на поршне, вторичное изображение формируется оптической системой на приемнике оптического излучения (ПОИ). Блок обработки, подключенный к видеоблоку, производит анализ совокупности изображений КМ и расчет ее перемещения, скорости и ускорения, т.е. определяет перемещение, скорость и ускорение поршня [3].

При выборе принципа измерения была рассмотрена КМ двух типов: активного и пассивного.

КМ активного типа представляет собой источник излучения – полупроводниковый излучающий диод (ПИД) или лазер. Изображение источника строится на ПОИ видеоблока. Напряжение питания можно подводить как от аккумуляторных батарей, так и по проводам. Ограниченные габаритные размеры КМ и использование аккумуляторных батарей приводит к усложнению конструкции самой КМ. К тому же время работы источника от аккумуляторных батарей мало по

сравнению с общим циклом измерений. Использование КМ с проводами усложняет ее монтирование на поршень клапана. Кроме этого, в процессе измерений провода могут переломиться, что не позволит зафиксировать положение КМ с поршнем.

Пассивная КМ в виде сферического отражателя [4] отличается простотой конструкции и отсутствием проводов (рис. 2). Однако при ее использовании необходимо учитывать возникающую при использовании подобной КМ погрешность, вносимую формой ее поверхности. КМ в виде сферического отражателя работает подобно выпуклому сферическому зеркалу.



Рис. 2. Изображение пассивной КМ

На рис. 3 показано, что с увеличением радиуса КМ погрешность измерения перемещения возрастает. При ограниченном диапазоне перемещения зависимость погрешности от радиуса сферического отражателя носит линейный характер.

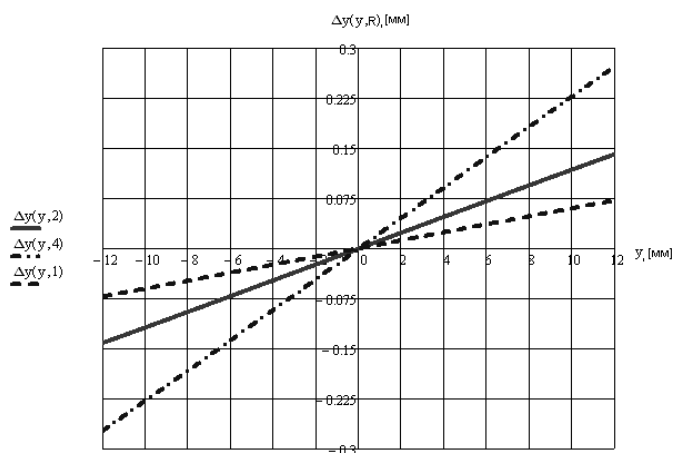


Рис. 3. Аппроксимированный график зависимости величины погрешности измерения  $\Delta y$  от величины измеренного перемещения КМ  $y$  при различных значениях радиуса КМ  $R$

В ОЭСИЛП радиус КМ составляет 2 мм. Из графика видно, что при радиусе КМ 2 мм и при перемещении КМ на 5 мм погрешность, вносимая формой отражателя, составляет 0,06 мм, а погрешность данной системы, заявленная в технических требованиях, не должна превышать 0,05 мм, т.е. полученной погрешностью нельзя пренебречь.

На стенде был проведен ряд экспериментов, которые показали, что работа ПИД более стабильна, чем при использовании КМ, поэтому было решено использовать ПИД в качестве эталона при измерении величина погрешности, вносимой сферической формой поверхности КМ.

На рис. 4 представлена статическая характеристика ОЭСИЛП.

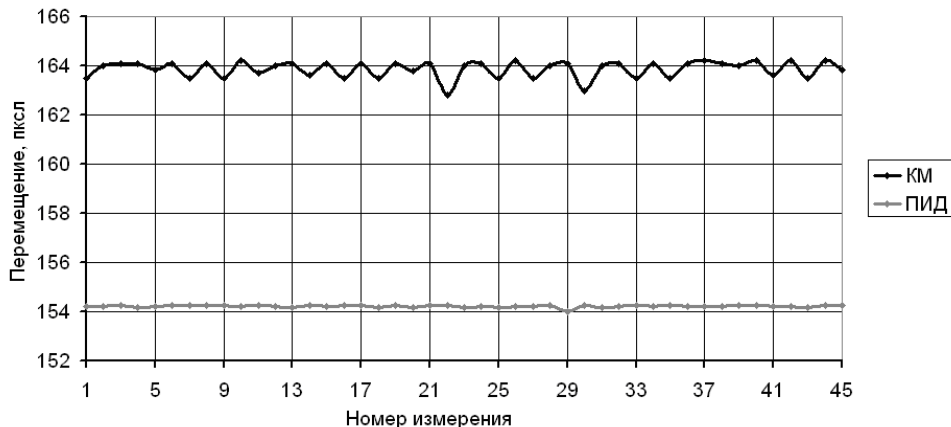


Рис. 4. Статическая характеристика ОЭСИЛП

Стабильность результатов измерений при использовании ПИД сравнительно больше (СКО составляет 0,03), чем при использовании КМ (СКО составляет 0,3). Погрешность при измерении величины перемещения поршня, вызванная формой поверхности КМ, составляет 0,05 мм. Эта погрешность является существенной (при допустимой погрешности измерения в 0,05 мм) и ее необходимо устранять.

Также в результате проведенного анализа основных погрешностей измерения, возникающих при работе системы, были выявлены случайные и систематические составляющие общей погрешности. К случайным погрешностям относится погрешность определения энергетического центра тяжести, которая составляет 0,1 пиксел и погрешность, вызванная нестабильностью ИИ, которая составила 0,02 мм. К систематическим погрешностям, помимо погрешности, вносимой сферической формой поверхности КМ, относится погрешность установки матрицы. Однако обе эти погрешности можно устранить на этапе предварительной обработки данных.

Также было проведено исследование влияния уровня напряжения ПИД на погрешность измерения перемещения. Экспериментальные исследования показали, что данная погрешность минимальна при уровне напряжения в 3,2 В.

Таким образом, общая погрешность измерения перемещений в данной системе составляет 0,02 мм, что не превышает допустимую погрешность, равную 0,5 мм.

### Заключение

В ходе проведенного исследования оптико-электронной системы для измерения линейных перемещений поршня в цилиндре клапана было установлено, что общая погрешность измерения перемещений в данной системе составляет 0,02 мм при допустимой погрешности 0,5 мм. При этом система может применяться для измерений параметров движения объектов в труднодоступных местах и в динамических условиях, обладая при этом ограниченными габаритными размерами.



Исследования по рассмотренной тематике выполнены при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 г.

### Литература

1. Анисимов А.Г., Коротаев В.В., Кулешова Е.Н. О возможности адаптации теории распределенных измерительных систем к оптико-электронным системам // Приборостроение, № 7. 2010. – с. 86.
2. Горбачев А.А., Коняхин И.А., Мусяков В.Л., Тимофеев А.Н., Исследование особенностей построения инвариантных оптико-электронных систем с единым матричным полем анализа. Оптический журнал 2007. Т.72, №12. С. 24-29.]
3. Горбачев А.А., Кулешова Е.Н. Исследование влияния формы сферического отражателя на точность измерения перемещений поршня в цилиндре клапана // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО, 2010. 6 (70). – С. 12-16.
4. Подшипники радиальные шариковые однорядные для приборов. Технические условия. ГОСТ 10058-90.

УДК 621.01

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИКИ И ДИНАМИКИ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

**Р.Я. Лабковская**

В целях увеличения срока службы и эффективности функционирования исследуемых устройств автоматики была осуществлена разработка аналитических моделей статики и динамики ОУЭ первичных датчиков систем управления, построенных на основе сильфонов.

### Введение

Основой построения систем управления являются первичные измерительные приборы, датчики и исполнительные механизмы, управляемые системой по заданному алгоритму. Характеристики систем управления в значительной степени определяются первичными измерительными приборами, формирующими сигналы обратной связи [1, 2]. Тонкостенные упругие чувствительные элементы – сильфоны, воспринимающие измеряемую величину, являются одними из элементов таких первичных датчиков систем автоматического управления. Как правило, датчики на основе сильфонов преобразуют механическую величину деформации сильфона в электрическую. Часть первичного датчика, содержащая электрическую компоненту, имеет более высокую надежность по сравнению с механической надежностью непосредственно сильфона [12]. С другой стороны, точность измерения также зависит от механических параметров измерительного сильфонного датчика, поэтому механические параметры сильфона, его надежность, являются основой для построения высокоэффективных автоматических систем управления [5, 15].

Рост требований к датчикам, в первую очередь – к их метрологическим характеристикам и показателям надежности, делает актуальной проблему повышения качества оболочечных упругих элементах (ОУЭ) [7, 8]. Снижение материалоемкости конструкции, обеспечение заданного ресурса работы, необходимых параметров надежности и точности являются важнейшими условиями для вновь разрабатываемых

элементов автоматизированных систем управления [3]. Эти требования обусловили развитие расчетных и экспериментальных методов, которые легли в основу общей методологии проектирования новых типов датчиков.

Тем не менее, в настоящее время нет достаточно простого и удобного для практического применения аналитического метода расчета сильфонов. Для решения такой задачи чаще используются различные численные методы (метод конечных элементов, метод сечений). Существует значительное количество теоретических методов расчета сильфонов, обладающих разной степенью приближения (точности), однако создание единой модели расчета статики, динамики и надежности ОУЭ, базирующейся на современных автоматизированных средах, по-прежнему остается актуальной задачей [4].

Математическое моделирование, описывающее реальные условия эксплуатации ОУЭ в системах управления, позволит сократить объемы дорогостоящих испытаний подобных элементов на стадии их проектирования [9, 11].

#### **Анализ полей деформации ОУЭ с помощью сформированной библиотеки конечных элементов**

При выборе функций перемещений, обеспечивающих учет смещений как жесткого целого, для формирования библиотеки конечных элементов [16] следует учитывать ряд условий, от выполнения которых будет значительной степени зависеть эффективность создаваемых алгоритмов расчета сложных конструкций, в частности, упругих чувствительных элементов (УЧЭ) датчиков систем управления. К числу этих условий относится стремление к формированию библиотеки из минимально необходимого набора конечных элементов различных типов при условии, что этот набор обеспечивает корректное формирование расчетной модели любой конструкции УЧЭ из выбранного для анализа класса датчиков систем управления.

Расчетом статики и динамики сложных структур занимались такие ученые как: Вольмир А.С., Куранов Б.А., Гусев С.С., Кармишин А.В., Новожилов В.В. и др. Однако, проблема математического моделирования полей напряжения и деформаций остается по-прежнему актуальной [6, 10]. Для решения этого вопроса необходимо создавать библиотеку конечных элементов тонкостенных УЧЭ. В этой связи, авторами статьи рассмотрено формирование библиотеки конечных элементов пластин и мембран, являющихся УЧЭ датчиков и реле систем управления и автоматики [16].

Каждый тип используемых в библиотеке конечных элементов должен, в свою очередь, удовлетворять ряду требований, выполнение которых гарантирует сходимость к точному решению по мере сгущения узлов сетки [13, 14]:

- узловые перемещения элемента, соответствующие перемещению его как твердого тела, не должны сопровождаться возникновением ненулевых деформаций;
- выбранные для аппроксимации перемещений выражения должны обеспечивать непрерывность поля перемещений и их производных до  $(m-1)$ -го порядка включительно ( $m$  - порядок старшей производной в функционале энергии) как во внутренней области элемента, так и на межэлементных границах;
- выбранные системы обобщенных перемещений в узлах и функции формы должны обеспечивать точную формулировку системы краевых условий на границах структуры.

### Заключение

Проведен анализ областей применения ОУЭ, сформулированы наиболее актуальные требования, предъявляемые к материалу ОУЭ. Определены перспективные направления применения ОУЭ в датчиках систем управления.

Проведен анализ существующих подходов к описанию геометрических параметров ОУЭ, будут отмечены недостатки и степень точности.

Предложен новый подход к исследованию тонкостенных ОУЭ, основанный на применении эллиптических функций.

Проанализированы изменения амплитудно-частотных характеристик сальфонов при изменении схемы их закрепления и внешних условий.

Полученные в работе результаты представляют собой теоретическое обобщение и решение научной проблемы – создание современных методик, позволяющих проводить моделирование стереометрических параметров ОУЭ, что является одним из важных аспектов проблемы создания высокоточных и надежных датчиков систем управления, использующих ОУЭ в своей основе.

### Литература

1. ГОСТ 8.256-77. ГСИ. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерений. Основные положения. – Введ. 1978-07-01. – М.: Изд-во Стандартов, 1978.
2. ГОСТ 20.57.406-81. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – Введ. 1982-01-01. – М.: Изд-во Стандартов, 1982.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1990-07-01. – М.: Изд-во Стандартов, 1990.
4. Указ Президента РФ от 30.03.2002 г. № Пр-577. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации и Перечень критических технологий Российской Федерации.
5. Беседа А.И. Надежность упругих элементов. – в кн.: Приборы и средства автоматизации / А.И. Беседа. – М.: ЦНИИТЭИ Приборостроения, 2008, 14 – 17 с.
6. Корсунов В.П. Упругие чувствительные элементы (статика, динамика, надежность) / В.П. Корсунов. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 1980. – 320с.
7. Лабковская Р.Я., Нечаева Н.В., Пирожникова О.И., Нечаев В.А. Анализ жесткости упругих чувствительных элементов датчиков и микроакселерометров систем управления // Сборник тезисов докладов VII Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых, Выпуск 1. Труды молодых ученых / Главный редактор д.т.н., проф. В.О. Никифоров. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – С. 195.
8. Лабковская Р.Я., Нечаев В.А., Нечаева Н.В., Пирожникова О.И. Анализ жесткости УЧЭ датчиков и герконовых реле систем управления и автоматики // Сборник тезисов докладов VII Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых, Выпуск 1. Труды молодых ученых / Главный редактор д.т.н., проф. В.О. Никифоров. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – С. 195-196.
9. Лабковская Р.Я., Нечаев В.А., Нечаева Н.В., Пирожникова О.И. Математические модели чувствительных элементов линейного акселерометра в динамическом режиме // Сборник тезисов докладов VIII Всероссийской межвузовской

- конференции молодых ученых, Выпуск 1. Труды молодых ученых / Главный редактор д.т.н., проф. В.О. Никифоров. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – С. 138-139.
10. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.: ил.
  11. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с.
  12. Сухарев И.П. Экспериментальные методы исследования деформации и прочности / И.П. Сухарев. – М.: Машиностроение, 2003. – 213 с.
  13. Ткалич В.Л. Надежность магнитоуправляемых контактов в системах управления. Монография / СПб., 2000. – 110 с.
  14. Ткалич В.Л., Лабковская Р.Я. «Обработка результатов технических измерений». Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 72 с.
  15. Ткалич В.Л., Лабковская Р.Я., Пирожникова О.И. Метод повышения надежности упругих чувствительных элементов систем управления и автоматики // Научно-технический вестник, г. Санкт-Петербург, СПбГУ ИТМО. – 2011. №1(71). – С. 136-138.
  16. Ткалич В.Л., Лабковская Р.Я. Библиотека конечных элементов в приложении к упругим чувствительным элементам пластин и мембран датчиков систем управления//Научно-аналитический журнал «Научная перспектива», г. Уфа, 2010, № 3-4. – С. 86-89.

**УДК 535.34+535.37**

## **КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ, ИЗЛУЧАЮЩИЕ В ИК ДИАПАЗОНЕ**

**Е.В. Ушакова, С.А. Черевков, А.П. Литвин, П.С. Парфенов**

В статье приводится обзор научных исследований спектральных свойств квантовых точек, излучающих в ИК диапазоне. Подробно описываются области их применения.

В настоящее время изучение наноструктурированных материалов является быстро развивающейся областью исследований, которая стоит на границе таких наук, как физика, химия, биология и материаловедение. Одним из важных классов нанометровых строительных блоков являются нанокристаллы (НК). В этих объектах движение носителей заряда ограничено хотя бы вдоль одной из координат. Это приводит к размерному квантованию, которое кардинально меняет энергетический спектр носителей заряда и фононов и ведет к появлению целого ряда новых физических явлений и свойств полупроводниковых наноструктур, в том числе и оптических. Полупроводниковые НК, полученные с помощью коллоидного синтеза в органическом растворе [1], могут быть использованы в качестве строительных блоков нанометрового размера для создания новых сложных материалов с уникальными свойствами для различных практических приложений. Оптические и электронные свойства таких систем могут быть легко изменены посредством изменения химического состава или изменения геометрического размера нанокристаллов.

Квантовые точки (КТ) являются одним наиболее исследуемых объектов физики низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур. Квантовая точка – это кристалл полупроводника с характерным размером меньшим или порядка боровского радиуса экситона,  $R_{ex}$ , в котором движение электронов, дырок и экситонов пространственно ограничено в трех измерениях. В результате коллоидного синтеза оказалось

возможным получать квантовые НК различных форм, размеров и химических составов: квантовые точки, нити, диски, тетраподы и т.д. [2].

К настоящему времени подавляющее большинство исследований, связанных с изучением и применениями полупроводниковых КТ, относятся к материалам, которые имеют оптические переходы в видимом диапазоне спектра [3]. Лишь в последние несколько лет в центре внимания оказались КТ узкозонных полупроводников, квантовые переходы которых лежат в ближней ИК области спектра (0.9–5 мкм) [4]. Сравнивая с хорошо известными II-VI и III-V КТ, КТ на основе халькогенидов свинца лучше подходят для изучения размерного квантования элементарных возбуждений. Например, радиус Бора экситона для PbS КТ равен 18 нм (радиус электрона и дырки составляет 10 нм), что намного больше радиусов электрона и дырки для CdSe. Также КТ на основе халькогенидов свинца имеют относительно малые величины эффективных масс электронов и дырок (для PbS -  $0,085m_0$  при 4К) позволяют реализовывать этот режим в нанокристаллах достаточно больших размеров. В этом случае энергетическая структура и динамика носителей в КТ в значительной степени свободна от влияния поверхностных эффектов, упрощая сопоставление экспериментальных данных с результатами расчетов. Ожидается, что нелинейные оптические свойства полупроводниковых КТ увеличиваются в режиме сильного конфайнмента. В сочетании с разреженным электронным спектром КТ солей свинца делает данные материалы интересными для адекватного теоретического описания размерных зависимостей энергии электронных переходов в КТ, важных для прогнозирования процессов переноса энергии в системах КТ, размерных зависимостей энергетического спектра фононов и т.д. [5].

Принимая во внимание указанные выше характерные особенности, квантовые точки на основе халькогенидов свинца являются наиболее перспективными для создания устройств ИК диапазона нового поколения с более высокими эксплуатационными параметрами. Спектральная область ближнего ИК диапазона важна для многих приложений, например, для волоконно-оптических телекоммуникационных систем. Новый класс фотодетекторов и фотодиодов, а также лазеров с перестраиваемой частотой был создан с использованием квантовых точек сульфида свинца, интегрированных в тонкие полимерные пленки [6]. Также нанокристаллы на основе халькогенидов свинца нашли свое применение в качестве люминесцентных меток. Например, с помощью PbS КТ, растворимых в воде, был создан неинвазивный метод получения «in vivo»-изображений биологических тканей в ИК-диапазоне с хорошим разрешением вплоть до молекулярного уровня [7]. Комплексы нанокристаллов халькогенидов свинца с различными органическими молекулами и фуллерен-производными являются перспективными материалами для создания солнечных батарей нового поколения [8].

При создании новых типов люминесцентных меток, а также элементов солнечных батарей особое внимание уделяется КТ разных размеров, между которыми происходит перенос энергии. Наиболее вероятным механизмом передачи энергии в таких системах является безызлучательный перенос энергии – Fluorescence Resonance Energy Transfer (FRET) [9], о наличии которого и о его эффективности можно судить по тушению люминесценции КТ-донора и увеличению интенсивности люминесценции КТ-акцептора. В настоящее время несколько исследовательских групп проводят исследования резонансного безызлучательного переноса энергии между плотноупакованными PbS квантовыми точками методами стационарной и кинетической люминесцентной спектроскопии. В работе [10] исследовались системы, содержащие PbS квантовые точки с пиком люминесценции на 965 нм, и GaInAs

квантовые нити (КН) с пиком люминесценции на 1100 нм. В данных системах наблюдался безызлучательный резонансный перенос энергии не только между КТ и КН, но и между КТ. В работе [11] исследовались системы плотноупакованных PbS квантовых точек методами стационарной и кинетической люминесцентной спектроскопии. В данных системах наблюдался красный сдвиг люминесценции. Исследования кинетики люминесценции показали, что времена затухания люминесценции PbS КТ в растворе составляют порядка 2 мкс. Для нанокристаллов PbS в пленке наблюдалась зависимость времен затухания люминесценции от длины волны регистрации, что свидетельствовало о наличии процесса переноса энергии фотовозбуждения между КТ. В работе [12] исследовались спектральные свойства пленки, содержащей PbS КТ с пиком люминесценции на 1420 нм, и на основе полученных экспериментальных данных была разработана теоретическая модель распада населенности энергетических уровней исследуемых нанокристаллов.

Однако в данных работах исследуются квантовые точки достаточно малого размера, излучающие в спектральной области до 1400 нм, что связано с трудностями проведения оптических измерений, особенно кинетических, в более длинноволновой области спектра. В то же время для установления общих закономерностей влияния размеров нанокристаллов на эффективность переноса энергии необходимо исследовать особенности этого процесса в системах PbS квантовых точек в широком диапазоне размеров нанокристаллов, т.е. в системах КТ, люминесцирующих в диапазоне до 1900 нм. В связи с этим целью настоящей работы стало исследование спектральных характеристик квантовых точек сульфида свинца разного размера. Спектры поглощения нанокристаллов PbS КТ измерены с помощью спектрофотометра Shimadzu UV3600 с областью регистрации спектров 185-3300 нм. Спектры люминесценции нанокристаллов получены с использованием оригинального ИК спектрофлуориметра [13]. Полученные спектры люминесценции и поглощения представлены на рис. 1.

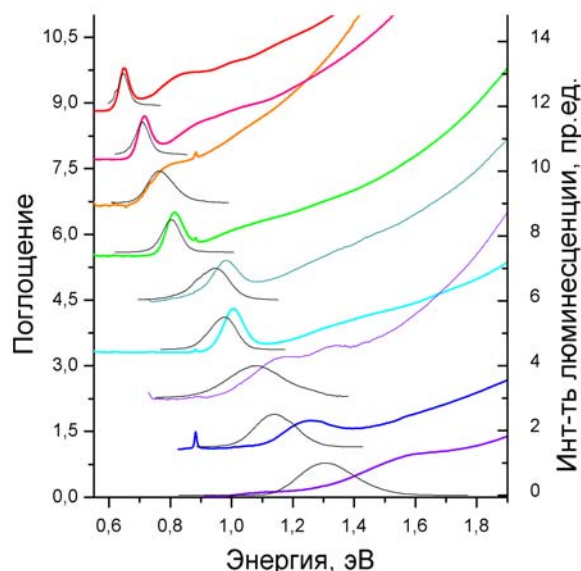


Рис. 1. Спектры поглощения (цветные линии) и люминесценции (черные линии) образцов PbS квантовых точек разного размера в тетрагидрометане

Проведено сравнение теоретических моделей, объясняющих зависимость положения полос поглощения от размеров нанокристаллов, а также были вычислены диаметры КТ по экспериментальным данным, была выведена эмпирическая формула, связывающая положение экситонного пика с размером нанокристалла [14].

Также были проведены исследования процесса безызлучательного переноса энергии фотовозбуждения (FRET) в ансамбле плотноупакованных квантовых точек PbS разного размера с оптическими переходами в ближней ИК области спектра (рис. 2).

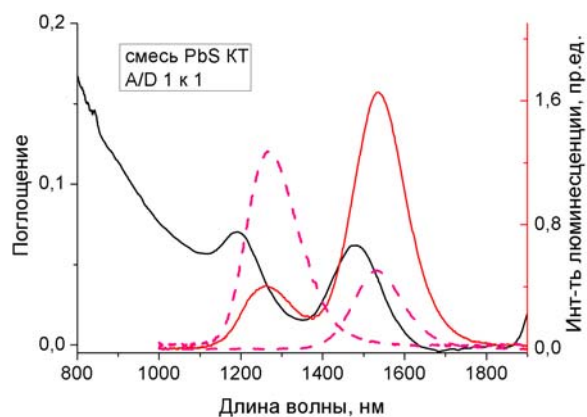


Рис. 2. Спектры поглощения (черная линия) и люминесценции (красная линия) смеси PbS КТ, внедренных в пористую матрицу в соотношении 1 к 1. Для сравнения пунктиром показаны спектры люминесценции PbS КТ<sub>Д</sub> и КТ<sub>А</sub>, не связанных в комплексы

Анализ люминесценции КТ<sub>Д</sub> и КТ<sub>А</sub> в ансамблях КТ, полученных путем внедрения раствора смеси КТ<sub>Д</sub> и КТ<sub>А</sub> с разным молярным соотношением компонент в пористую матрицу, показал, что эффективность переноса энергии увеличивается с увеличением числа КТ<sub>Д</sub>, контактирующих с одной КТ<sub>А</sub>, при этом безызлучательный перенос энергии от доноров к акцептору осуществляется по нескольким каналам [15].

Дальнейшие исследования свойств нанокристаллов сульфида свинца, а также комплексов на их основе, позволят расширить представления об их энергетической структуре и о процессах, происходящих в данных системах нанобъектов. Эти знания понадобятся для создания устройств ИК диапазона нового поколения с существенно более высокими эксплуатационными параметрами.

## Литература

1. V.M. Huxtera and G.D. Scholesa, Journal of Nanophotonics, Vol. 3, 032504, 2009;
2. C.L. Choi, A.P. Alivisatos, Annu. Rev. Phys. Chem., 61: 369-389, 2010;
3. А.В. Федоров, А.В. Баранов. Оптика квантовых точек. В: Оптика наноструктур. Под редакцией А.В. Федорова: СПб. «Недра». 2005 г. -326 с.
4. A.L. Rogach, A. Eychmuller, S. G. Hickey, and S.V. Kershaw. Small, 3, 536-557, 2007;
5. I. Moreels, K. Lambert, D. Smeets, D. De Muynck, T. Nollet, J.C. Martins, F. Vanhaecke, A. Vantomme, C. Delerue, G. Allan, and Z. Hens, AcsNano, V. 3, No. 10, 3023–3030, 2009;
6. T. Rauch, M. Bober, S.F. Tedde, J. Furst, M.V. Kovalenko, G. Hesser, U. Lemmer, W. Heiss and O. Hayden, Nature Photonics, V. 3, 332, 2009, 332-337; A.D. Stiff-Roberts, Journal of Nanophotonics, Vol. 3, 031607, 2009

7. B.-R. Hyun, H. Chen, D. A. Rey, F. W. Wise, and C. A. Batt, *J. Phys. Chem. B*, 111, 5726-5730, 2007; J. Sun, M.-Q. Zhu, K. Fu, N. Lewinski, R. A. Drezek, *International Journal of Nanomedicine*: 2(2) 235–240, 2007;
8. T. Dittrich, A. Belaidi, A. Ennaoui, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 95, 1527–1536, 2011;
9. A.L. Rogach et al. *J. of Materials Chem.*, 19, 1208-1221, 2008;
10. Siyuan Lu, A. Madhukar, *Nano Lett.*, Vol. 7, No. 11, 3443-3451, 2007;
11. S. S. Clark, J. M. Harbold, F. W. Wise, *J. Phys. Chem. C*, Vol. 111, No. 20, 7302-7305, 2007;
12. V. Rinnerbauer, H.-J. Egelhaaf, K. Hingerl, P. Zimmer, S. Werner, T. Warming, A. Hoffman, M. Kovalenko, W. Heiss, G. Hesser, F. Schaffler, *Phys. Rev. B* 77, 085322, 1-9, 2008;
13. П.С. Парфенов, А.П. Литвин, А.В. Баранов, А.В. Вениаминов, Е.В. Ушакова. *Журнал прикладной спектроскопии*. - Т. 78, № 3. С. 452-458, 2011;
14. E.V. Ushakova, S.A. Cherevko, M.V. Artemyev, M.V. Muhina, P.S. Parfenov, A.V. Baranov, A.V. Fedorov. *Proc.14th Int. Conf. "Laser Optics 2010"*, St.Petersburg, Russia, June 28 – July 02, 2010. ThR6-p11. РИЦ ГУАП Санкт-Петербург, 2010;
15. Е.В. Ушакова, П.С. Парфенов, А.П. Литвин, С.А. Черевков, А.В. Баранов. Сб. тезисов докладов всероссийской конференции «Фотоника органических и гибридных наноструктур», Черногоровка: ИПФХ РАН. Стр. 154. 2011.

УДК 004.056

## СЛАБЫЕ СТОРОНЫ ПРИ РАБОТЕ С СИСТЕМОЙ «БАНК-КЛИЕНТ»

Г.Б. Цымжитов

В статье приводятся слабые стороны дистанционного банковского обслуживания, полученные при анализе системы «Банк-Клиент» одного из российских банков. При написании работы использованы статьи специалистов по информационной безопасности.

В настоящее время практически каждый банк предоставляет услуги дистанционного банковского обслуживания, что необходимо для правильной организации работы с программными продуктами клиентов. Дистанционное банковское обслуживание — предоставления банковских услуг удаленным образом с использованием телефонных и компьютерных сетей. Технологии предоставления банковских услуг классифицируют по типам информационных систем (программно-аппаратных средств), используемых для осуществления банковских операций: клиент-банк, банк-клиент, интернет-клиент, телефон-банк и обслуживание с помощью банкоматов.

Целью данной статьи является краткий обзор основных проблем в хранении ключей для доступа к системам Банк-Клиент.

Банк-клиент — эта ситуация, когда на рабочей станции пользователя устанавливается отдельная программа-клиент. Программа-клиент хранит на компьютере все свои данные, как правило, это платежные документы и выписки по счетам. Программа-клиент может соединяться с банком по различным каналам связи. Наиболее часто для соединения с банком используется прямое соединение через модем или передача данных через сеть Интернет. Для выполнения финансовых операций необходимо иметь электронную подпись, с помощью которого банк идентифицирует клиента.



Электронная подпись (ЭП) – реквизит электронного документа, позволяющий установить отсутствие искажения информации в электронном документе с момента формирования ЭП и проверить принадлежность подписи владельцу сертификата ключа ЭП. Значение реквизита получается в результате криптографического преобразования информации с использованием закрытого ключа ЭП.

Ниже представлен алгоритм получения электронной подписи:

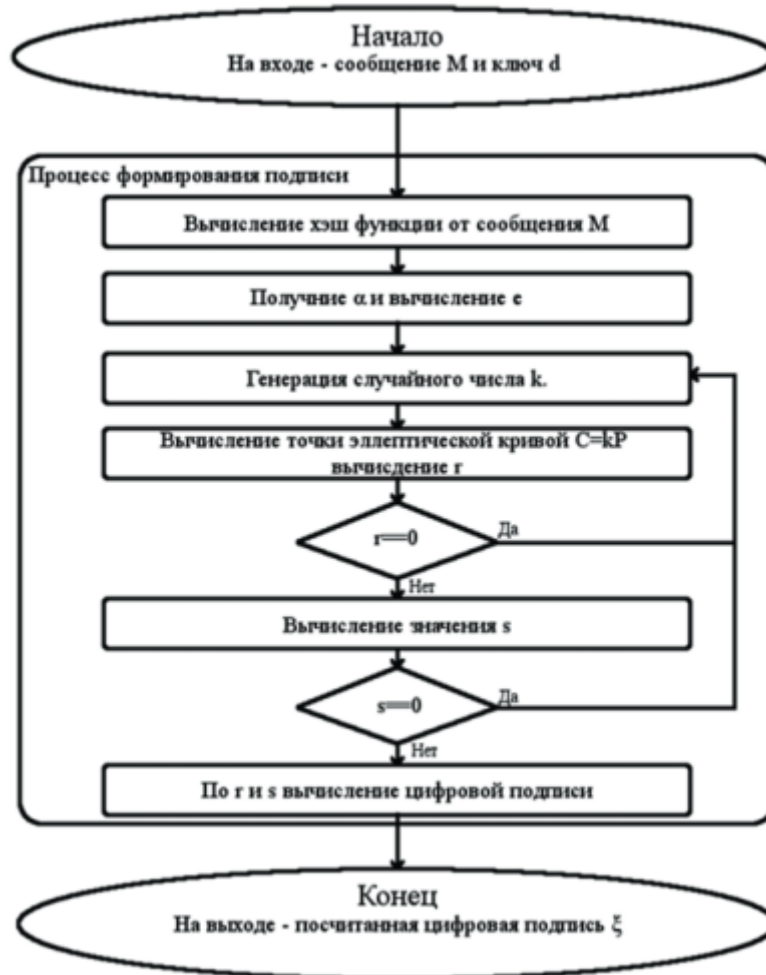


Рисунок. Процесс формирования электронной подписи ГОСТ Р 34.10 2001  
(Автор: Алексей Бузмаков)

В нашем случае зашифрованный на закрытом ключе результат хеш-функции от текста платежного поручения. Банк, получая платежное поручение, проверяет хеш от текста полученной платежки, потом расшифровывает подпись открытым ключом клиента и сверяет результат. Если хеши совпали, значит, подтверждено платежное поручение, и текст поручения достоверен. В данном случае решаются задачи целостности, идентификации клиента и, кроме того, сам клиент потом не может отказаться от действия, так как подписан верным ключом. Дело в том, что между банком и клиентом подписывается договор, после чего все операции с верной электронно-цифровой подписью (ЭЦП) банк должен выполнять. Поэтому, если кто-то украдет ключ пользователя и подпишет поручение, то банк обязан исполнить ее. После клиент не может подойти с претензиями, так как банк покажет договор, документы о

генерации ключа, о признании этого ключа клиентом и о том, что ключ был верный. Программное обеспечение, работающее с ЭЦП по ГОСТу, называется «Система криптографической защиты информации» (СКЗИ), которое проходит проверку ФСБ, после выдаются соответствующие сертификаты. Алгоритм подписи определяется ГОСТ Р 34.10 2001, а алгоритм хеш-функции – ГОСТ Р 34.11-94.

Зная теоретические аспекты системы удаленного обслуживания, мы перейдем к непосредственно результатам анализа разного программного обеспечения.

В некоторых изученных программах организация хранения ключей настолько упрощена, что можно скачать открытый и закрытый ключ, взяв пути в конфигурационном файле одного из модулей «Банк-Клиента». Данная проблема является со стороны банка, так как, в основном, банки используют готовые программные продукты, для которых универсальное вредоносное программное обеспечение. Решением этой проблемы являются персональные средства аутентификации в виде USB-брелков – электронные ключи.

Электронные ключи – персональное средство аутентификации и защищенного хранения данных, аппаратно поддерживающее работу с цифровыми сертификатами и электронной цифровой подписью. USB-ключи представлены комбинированными устройствами и автономными генераторами одноразовых паролей (OTP).

Этим электронным идентификаторам присущи недостатки, свойственные всем устройствам, в которых PIN-код вводится не с собственной клавиатуры устройства, а с клавиатуры терминала, к которому устройство подключено: с помощью троянской программы злоумышленник может перехватить PIN-код и произвести неоднократное несанкционированное подписывание или шифрование любой информации от имени владельца устройства. Следовательно, можно подменить входные данные.

Существует достаточное количество способов обойти идентификацию – например, установлением программ удаленного управления компьютером или, как писал в своей статье Алексей Синцов, ведущий аудитор по информационной безопасности, о туннелировании USB-потока с помощью троянской программы.

### **Вывод**

Хочу обратить внимание на некоторые правила, которые не раз были написаны разными специалистами по информационной безопасности:

1. ограничение доступа;
2. антивирусная защита и межсетевой экран;
3. безопасная организация сети;
4. выполнение правил пользования электронных ключей, рекомендованных производителем.

### **Литература**

1. Nupur J. – E-Banking and Customers' Satisfaction in Bangladesh: An Analysis
2. Дистанционное банковское обслуживание - URL: [http://www.wikipedia.org/Дистанционное\\_банковское\\_обслуживание](http://www.wikipedia.org/Дистанционное_банковское_обслуживание)
3. Синцов А. – Технические аспекты анализа защищенности Банк- Клиентов
4. Синцов А. – Банк-клиент правила выживания
5. Электронная цифровая подпись – URL: [http://www.wikipedia.org/Электронная\\_цифровая\\_подпись](http://www.wikipedia.org/Электронная_цифровая_подпись)

УДК 535.375.5

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НАНОКРИСТАЛЛОВ CdHgSe МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

С.А. Черевков, Е.В. Ушакова, К.В. Богданов

Сообщается о контролируемом спектроскопией КР химическом замещении атомов Cd атомами Hg в CdSe нанокристаллах кубической (ZB, цинковая обманка) и гексагональной (WZ, вюрцит) кристаллической структуры с образованием тройных нанокристаллов  $Cd_xHg_{1-x}Se$  с разным значением  $x$ .

В последнее время полупроводниковые квантовые нанокристаллы (НК) находят широкое применение при создании различных типов оптоэлектронных устройств. Это связано с возможностью целенаправленного управления параметрами оптических переходов нанокристаллов одного материала путем изменения их размеров. Дополнительные возможности для управления оптическими, электрическими и структурными параметрами нанокристаллов появляются при изменении их химического состава, например, при использовании полупроводников тройных соединений типа  $A_xB_{1-x}C$ , где  $0 \leq x \leq 1$  – доля компонента А в составе полупроводника. Нанокристаллы тройных соединений полупроводников групп  $A^{II}$  и  $B^{VI}$ , обладающие высоким квантовым выходом люминесценции, могут охватывать очень широкий спектральный диапазон излучения от 0.5 до 1.5 мкм, который невозможен для их бинарных аналогов [1-3]. Нанокристаллы, эффективно люминесцирующие в области 0.8-1.5 мкм, крайне востребованы в различных приложениях ИК нанофотоники, включая информационные системы и солнечную энергетику [4]. Среди них нанокристаллы  $Cd_xHg_{1-x}Se$  имеют большой потенциал для использования в качестве фоточувствительных элементов и люминофоров в широкой спектральной области из-за возможности существенного изменения ширины запрещенной зоны как из-за размерных эффектов, так и из-за изменения химического состава.

Для изготовления нанокристаллов  $Cd_xHg_{1-x}Se$  предложен метод, в котором в исходных эффективно люминесцирующих нанокристаллах CdSe с хорошо контролируемым размером, формой и кристаллической структурой определенная часть атомов Cd в результате химической реакции замещается на атомы Hg [4-6], приводя к сдвигу полосы люминесценции нанокристаллов в красную область спектра. В то же время, химический состав и структура получающихся нанокристаллов CdHgSe, а также их связь с люминесцентными параметрами в настоящее время неизвестны, что не позволяет создавать нанокристаллы с заданными оптическими свойствами. Ситуация осложняется также тем, что CdSe может существовать в двух кристаллических структурах: кубической и гексагональной, в то время как HgSe только в кубической [7, 8]. В этом случае в результате замещения атомов кадмия атомами ртути может произойти фазовый переход, приводящий к неконтролируемому изменению оптических параметров нанокристаллов CdHgSe. Поэтому проблема установления структурно-химических особенностей полупроводниковых квантовых нанокристаллов CdHgSe является в настоящий момент весьма актуальной для развития методов синтеза квантовых нанокристаллов с улучшенными оптическими параметрами. Ответы на эти вопросы может дать спектроскопия комбинационного рассеяния света, широко используемая для структурно-химического анализа наноразмерных объектов. Целью настоящей работы является установление закономерностей формирования химического состава и структуры квантовых нанокристаллов на основе

тройного соединения полупроводников CdHgSe методом спектроскопии резонансного микро-комбинационного рассеяния света (микро-КР).

Кубические и гексагональные нанокристаллы CdSe около 3.5 нм в диаметре синтезированы в соответствии с процедурами высокотемпературного металлоорганического синтеза [7, 8]. Для получения тройного соединения CdHgSe использована контролируемая по времени реакция замещения атомов Cd в нанокристаллах и наностержнях CdSe в толуоле/олеиламине путем добавления раствора бензоата ртути (II) в тетраэтиленгликоле диметилового эфира. Исследовались образцы нанокристаллов ZB и WZ CdSe, в которых согласно предложенной методике атомами ртути было замещено 10, 50 и 90% атомов кадмия, а также нанокристаллы HgSe, нанокристаллы и наностержни CdSe. Спектры КР образцов при комнатной температуре были получены с использованием спектрометра микро-КР «InVia, Renishaw» при возбуждении излучением 514,5 нм аргонового лазера.

В спектре КР образца нанокристаллов HgSe наблюдались известные полосы на частотах  $135\text{ см}^{-1}$  и  $175\text{ см}^{-1}$ , соответствующие  $\text{TO}_1$  и  $\text{LO}_1$  фононным модам, а также полоса  $\sim 346\text{ см}^{-1}$ , отнесенная к LO-фонон-плазмонной моде [9]. В спектре нанокристаллов CdSe наблюдались полосы SO-, LO- и 2LO-фононов материала на частотах 186, 207.5 и  $409\text{ см}^{-1}$ . Обнаружено, что замещение 10, 50 и 90% атомов Cd на атомы Hg приводит к монотонному уменьшению частоты полосы CdSe-подобного LO-фонона и увеличению частоты полосы HgSe-подобного LO-фонона [10]. При этом наблюдается уменьшение интенсивности полосы CdSe-подобного LO-фонона и увеличение интенсивности полосы HgSe-подобного LO-фонона. Такая модификация спектров КР полностью соответствует ожидаемой для двухмодового смешанного кристалла и свидетельствует об образовании тройного соединения  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{x-1}\text{Se}$ .

В заключение мы показали, что спектроскопия КР позволяет установить факт контролируемого замещения атомов Cd атомами Hg в нанокристаллах CdSe с образованием тройного соединения  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{x-1}\text{Se}$ .

### Литература

1. X. Zhong, M. Han, Z. Dong, T.J. White, W. Knoll. *J. Am. Chem. Soc.*, **123**, 8589, (2003).
2. R.E. Bailey, S. Nie. *J. Am. Chem. Soc.*, **125**, 7100, (2003).
3. X. Zhong, Y. Feng, W. Knoll, M. Han. *J. Am. Chem. Soc.*, **125**, 13559, (2003).
4. A.L. Rogach, A. Euchmüller, S.G. Hickey, S.V. Kershaw. *Small*, **3**, 536, (2007).
5. F.-C. Liu, Y.-M. Chen, J.-H. Lin, W.-L. Tseng. *J. Coll. Interface. Sci.*, **337**, 414, (2009).
6. H. Quian, C. Dong, J. Peng, X. Qiu, Y. Xu, J. Ren. *J. Phys. Chem. C*, **111**, 16852, (2007).
7. H. Shen, H. Wang, Z. Tang, J. Z. Niu, S. Lou, Z. Du, L.S. Li. *Cryst. Eng. Comm.*, **11**, 1733, (2009).
8. Z. Peng, X. Peng. *J. Am. Chem. Soc.*, **124**, 3347, (2002).
9. K. Kumazaki, *Phys. Stat. Sol. B*, **161**, 353 (1989).
10. С.А. Черевков, Е.В. Ушакова, К.В. Богданов, Сборник тезисов докладов конференции молодых ученых, **2**, 332-333, (2011).

## **СОЗДАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСТРУКТУР И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННЫХ И ИОННЫХ СФОКУСИРОВАННЫХ ПУЧКОВ**

**А.И. Денисюк**

В цикле работ [1–5] за 2009–2012 гг. описаны результаты создания и исследования свойств различных функциональных металлических наноструктур (оптические антенны, память на основе фазовых переходов в наночастицах). При создании структур использовались методы осаждения материала под действием сфокусированного электронного пучка [1], а также оригинальный метод прецизионного манипулирования наночастицами в электронном микроскопе [2–3]. В работе [4] представлены результаты исследования фазовых переходов индуцированных в наночастицах галлия электронным пучком. При этом обнаружено, что изменение фазового состояния частиц сопровождается изменением спектра катодolumинесцентной эмиссии частиц. Метод катодolumинесценции в электронном микроскопе был также применен для исследования оптических свойств структур на основе комбинаций золотых наностержней [5]. Показано, что данные наноструктуры могут эффективно преобразовывать энергию наноразмерного источника возбуждения (создаваемого сфокусированным электронным пучком) в излучение света, т.е. функционировать как оптические антенны.

### **Литература**

1. Денисюк А.И., Создание оптических антенн V-образной формы // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77, № 9. – С. 3–7.
2. Denisjuk A.I., Tinskaya M.A., Petrov M.I., Shelaev A.V., Dorozhkin P.S. Tunable Optical Antennas Based on Metallic Nanoshells with Nanoknobs // J. Nanosci. Nanotech. – 2012. (in press).
3. Караев А.А., Денисюк А.И. Оптические антенны-зонды на основе металлических нанооболочек // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 4. – С. 87–90.
4. Denisjuk A.I., MacDonald K.F., Garcia de Abajo F.J., Zheludev N.I. Towards femtojoule nanoparticle phase-change memory // Jpn. J. Appl. Phys. – 2009. – V. 48. – P. 03A065.
5. Denisjuk A. I., Adamo G., MacDonald K. F., Edgar J., Arnold M. D., Myroshnychenko V., Ford M. J., Garcia de Abajo F. Javier, Zheludev N. I. Transmitting Hertzian Optical Nanoantenna with Free-Electron Feed // Nano Lett. – 2010. – V. 10, N 9. – P. 3250–3252.

**УДК 53.082.5+53.086+532.5.011**

## **МИКРОФЛЮИДНЫЕ ЧИПЫ ДЛЯ ФИКСАЦИИ БИООБЪЕКТОВ**

**И.В. Кухтевич**

**Научный руководитель – к.т.н., с.н.с., доц. А.А. Евстапов**

Микрофлюидные технологии в последнее время находят широкое применение при подготовке и анализе жидких проб в химии, биологии и медицине. Интеграция в микрофлюидное устройство специальных функциональных элементов позволяет создавать новые аналитические приборы с превосходными техническими и эксплуатационными характеристиками для анализа биологических проб [1]. Для того,

чтобы осуществлять анализ отдельных биологических объектов (например, клеток, бактерий и т.д.), размеры которых составляют от нескольких микрометров до сотен нанометров, целесообразным является использование микро- и наноразмерных элементов и структур в микрофлюидном чипе [2]. Такой подход позволяет выделять нужные биообъекты из многокомпонентной смеси, осуществлять их разделение, а также производить их фиксацию в специальных «ловушках».

Кроме того, для создания новых аналитических систем важен правильный выбор системы детектирования. Особо следует выделить методы микроскопии высокого разрешения, позволяющие осуществлять контроль и измерение биологических объектов с высоким пространственным разрешением. Применение этих методов (конфокальной лазерной сканирующей микроскопии, микроскопии ближнего поля, атомно-силовой микроскопии) в сочетании с микрофлюидными устройствами дает возможность получить более полную информацию об изучаемых биообъектах и их свойствах, что важно для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач в биологии, медицине и фармакологии.

Таким образом, целью выполняемой работы является разработка новых аналитических систем на основе микрофлюидных чипов для методов микроскопии высокого разрешения.

На данный момент проведены работы по изучению взаимодействия различных буферных растворов с материалами, из которых изготавливаются подложки микрофлюидных чипов, исследованы способы модификации поверхности этих материалов (нанесение покрытий, плазменное травление, ультразвуковая обработка, химическая обработка). Изготовлены прототипы стеклянных микрофлюидных чипов, в том числе: чипы с сетью наноразмерных каналов и чипы с массивом металлических нанопроволок. Микрочипы с наноразмерными каналами получены методом ионной литографии на электронно-ионном микроскопе CrossBeam Neon 40 (Carl Zeiss, Германия) [3, 4], а с массивом нанопроволок – выращены в реакционной камере микроскопа методом осаждения платины из газа под действием электронного пучка [5]. Изучено прохождение потоков жидкости через наноразмерные структуры при различных условиях на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе Leica TCS SL (Leica, Германия). Проведены исследования, подтверждающие возможность фиксации микрочастиц (тестовых объектов – полистирольных частиц, диаметром 3 мкм и 6 мкм) на наноразмерных структурах в канале микрофлюидного чипа методом «гидродинамической» ловушки.

Совокупность полученных данных и изготовленные в рамках-продланной работы микрофлюидные чипы с интегрированными наноразмерными структурами, могут использоваться как основа для создания современных аналитических систем в медицине, фармакологии и биологии.

Работа проведена при поддержке: АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011)» (РНП 2.1.2/9501); ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009- 2013 годы (ГК П557, ГК 14.740.11.1218); Программы У.М.Н.И.К.

### Литература

1. Seokheun Choi, Michael Goryll, Lai Yi Mandy Sin, Pak Kin Wong, Junseok Chae Microfluidic-based biosensors toward point-of-care detection of nucleic acids and proteins // *Microfluidics and Nanofluidics*. 2011. 10, 2. 231–247.

2. Noritada Kaji, Yukihiro Okamoto, Manabu Tokeshi, Yoshinobu Baba Nanopillar, nanoball, and nanofibers for highly efficient analysis of biomolecules // Chem. Soc. Rev. 2010. 39. 948–956.
3. А.А. Евстапов, И. С. Мухин, И. В. Кухтевич, А.С. Букатин. Применение ионной литографии для формирования наноразмерных каналов микрофлюидных чипов в стеклянных подложках // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. 4. 59–64.
4. И.В. Кухтевич, А.С. Букатин, И.С. Мухин, А.А. Евстапов. Микрофлюидные чипы с интегрированными наноразмерными структурами для фиксации биологических объектов // Научное приборостроение. 2011. Т. 21. №3. С. 17–22.
5. А.А. Евстапов, И.С. Мухин, И.В. Кухтевич, А.С. Букатин. Метод сфокусированного ионного пучка при формировании наноразмерных структур в микрофлюидных чипах // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. №20. С. 32–40.

УДК 535.374:621.375.8

## МОЩНЫЕ ЭРБИЕВЫЕ МИКРОЛАЗЕРЫ С ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМ СПЕКТРОМ ГЕНЕРАЦИИ

Д.Ю. Сачков

Приведены результаты, полученные в рамках исследований процессов генерации твердотельных лазеров на эрбиевых кристаллах с диодной накачкой, проводимых коллективом кафедры Лазерной техники и биомедицинской оптики. Описаны перспективы развития данного направления исследований.

При проведении медицинских операций с использованием лазера воздействие на биологическую ткань сопровождается повреждением окружающей область воздействия здоровых тканей. Это негативно сказывается на вероятности успешного завершения операции, проценте послеоперационных осложнений, времени восстановления после операции.

Размеры зоны сопутствующих повреждений определяются рядом параметров, ключевыми из которых являются время воздействия, импульсная мощность и длина волны лазерного излучения. Значительное влияние последнего параметра связано с тем, что свойства биологических тканей сильно меняются в зависимости от длины волны используемого излучения. В частности, изменяется коэффициент поглощения биоткани.

При малом значении коэффициента поглощения энергия лазерного излучения поглощается в слое ткани значительной толщины, что приводит к повреждению здоровых областей. В случае большого коэффициента поглощения вся энергия поглощается в тонком слое ткани, вызывая ее нагрев, коагуляцию или испарение (в зависимости от задачи). При этом сопутствующие ткани испытывают минимальное воздействие, определяемое теплоотводом из зоны облучения. Величину теплоотвода возможно сократить за счет использования импульсов малой длительности (сокращая время воздействия) и высокой мощности.

В настоящее время наибольшее распространение получили неодимовые и диодные лазеры, излучение которых лежит в ближней ИК области (0.8–1 мкм). В данной области спектра поглощение биотканей невелико, что приводит к значительной величине сопутствующих повреждений. Широкое распространение данных лазеров связано, в первую очередь, с их относительно низкой стоимостью и хорошими технико-эксплуатационными параметрами.

Задача минимизации сопутствующих повреждений при лазерных медицинских операциях может быть решена за счет использования лазеров, излучающих в средней инфракрасной области, а именно в районе 3 мкм, где находится основной максимум поглощения биологических тканей. Одними из наиболее перспективных лазеров данного диапазона являются малогабаритные лазеры на эрбиевых кристаллах с накачкой излучением мощных лазерных диодов. Помимо решения описанной выше проблемы, использование подобных лазеров позволяет создавать высокоэффективные, малогабаритные медицинские приборы, обладающие высоким сроком службы при относительно небольшой стоимости. Ярким примером системы подобного типа является разработка авторов [1]. На рисунке приведено изображение лазерного излучателя данного прибора в сравнении с габаритами стандартной бормашины.

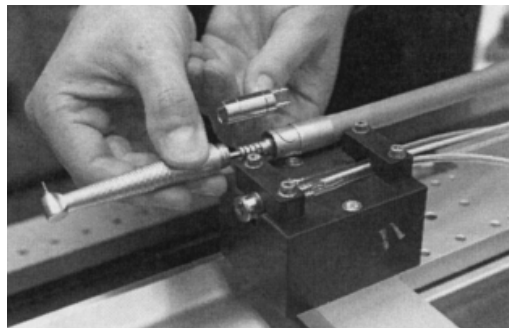


Рисунок. Малогабаритный эрбиевый лазер, разработанный авторами статьи [1]

Широко известно, что в эрбиевых кристаллах возможна генерация на ряде длин волн в области 3 мкм (лазерный переход  ${}^4I_{11/2} - {}^4I_{13/2}$  имеет значительную ширину). При этом коротковолновая область лазерного перехода не попадает в максимум поглощения биотканей, в то время как длинноволновая область лежит в пике этого максимума. По этой причине успешное внедрение эрбиевых лазеров невозможно без исследования и оптимизации их энергетических, временных и спектральных параметров.

Цель проекта – исследование процессов генерации в эрбиевых активных средах, направленное на создание методов оптимизации и управления спектральными и энергетическими параметрами генерации малогабаритных эрбиевых лазеров с диодной накачкой

В рамках данного проекта проведено исследование временных, спектральных и энергетических параметров генерации малогабаритных эрбиевых лазеров с диодной накачкой, а также методов управления данными параметрами. Проект включает цикл теоретических и цикл экспериментальных исследований.

В рамках теоретической части исследования определена наиболее перспективная для дальнейших исследований эрбиевая среда. Такой средой признан кристалл фторида иттрия-лития, активированный ионами  $\text{Er}^{3+}$  (Er:YLF). Разработана теория многочастотной генерации в области 3 мкм эрбиевых лазеров с диодной накачкой. Показано, что в течение импульса накачки происходит смещение длины волны генерации лазера от наиболее короткой к наиболее длинной. Полученные аналитические выражения позволяют определить предельные параметры генерации на любой из возможных длин волн генерации, а также предельно достижимую общую эффективность генерации. В случае кристалла Er:YFL максимально возможная



эффективность генерации составляет 68%. Результаты данного этапа опубликованы в работах [2,3].

Справедливость выдвинутых теоретических положений подтверждена в серии экспериментов на лабораторном макете Er:YLF-лазера. Кроме того, в ходе экспериментов успешно опробована схема продольно-поперечной накачки матрицей лазерных диодов. Получены энергии импульсов генерации 72 мДж и средняя мощность 1.9 Вт, что превосходит мировые результаты.

В ходе работ были выявлены неизвестные ранее зависимости спектральных характеристик генерации лазера от параметров импульсно-периодического режима накачки. В частности, происходит изменение набора длин волн, на которых осуществляется генерация. Выявленные закономерности изменения спектра генерации от параметров накачки положены в основу разработанного метода управления спектром генерации. Суть метода заключается в изменении длительности, амплитуды и скважности импульсов тока питания лазерных диодов накачки. Таким образом, предложенный метод не требует введения в конструкцию лазера каких-либо дополнительных элементов и легко реализуется в современных системах с микропроцессорным управлением. Предложенный метод успешно реализован на практике. Результаты данного этапа опубликованы в работе [4].

К сожалению, импульсная мощность экспериментального лазера в режиме свободной генерации составляла не более 40 Вт. Данного показателя недостаточно для воздействия на твердые биоткани. Увеличить импульсную мощность можно за счет перехода к режиму модуляции добротности. С этой целью проведена серия экспериментов по модуляции добротности Er:YLF-лазера кристаллами ZnSe, активированными ионами железа Fe<sup>2+</sup>. Получена импульсная мощность генерации 96 кВт на длине волны 2.81 мкм, что превосходит все известные мировые результаты. В режиме модуляции добротности также наблюдались эффекты многочастотной генерации: получена генерация на длинах волн 2.66, 2.71 и 2.81 мкм с импульсной мощностью на уровне 2–4 кВт. Была разработана теория модуляции добротности эрбиевых лазеров. Продемонстрирована возможность использования предложенного ранее метода управления спектром генерации в режиме модуляции добротности. Полученные результаты опубликованы в работах [5,6].

В настоящее время продолжаются работы по развитию теории генерации эрбиевых активных сред, а также цикл экспериментальных исследований возможностей разработанных лазеров по обработке твердых и мягких биологических тканей.

Основные результаты исследования представлены на трех международных и четырех всероссийских конференциях.

### Литература

1. J. Meister. et all. Multireflection pumping concept for miniaturized diode-pumped solid-state lasers // Applied Optics. 2004. vol. 43. No. 31. pp. 5864 – 5869.
2. Иночкин М.В., Назаров В.В., Сачков Д.Ю., Хлопонин Л.В., Храмов В.Ю. Динамика спектра генерации трехмикронного Er:YLF-лазера при полупроводниковой накачке // "Оптический журнал". 2009г. том 76. № 11. с. 62-67.
3. Сачков Д.Ю. Особенности непрерывной генерации трехмикронного Er:YLF-лазера при селективной накачке на нижний (<sup>4</sup>I<sub>13/2</sub>) и верхний (<sup>4</sup>I<sub>11/2</sub>) лазерные уровни // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного

университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. Т. 66. №1. стр. 27–33.

4. Иночкин М.В., Назаров В.В., Сачков Д.Ю., Хлопонин Л.В., Храмов В.Ю. Динамика спектра излучения Er:YLF-лазера в импульсно-периодическом режиме работы // "Оптический журнал". 2010г. том 77. № 7, с. 8–13.
5. Жилина В.С., Сачков Д.Ю., Храмов В.Ю. О многочастотной генерации Er:YLF-лазера с диодной накачкой и пассивным Fe:ZnSe-затвором // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. Т. 66. №2. с. 124
6. Жилина В.С., Сачков Д.Ю. Особенности пассивной модуляции добротности Er:YLF-лазера Fe:ZnSe-затвором // Сборник тезисов VII Всероссийской конференции молодых ученых. Выпуск 3. Физика твердого тела и материаловедение / Главный редактор д.т.н., проф. В.Л. Ткалич. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – стр. 28–29.

УДК 004.056

## ОБЩАЯ МОДЕЛЬ НАРУШИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Е.Н. Созинова

Данная статья рассматривает вопрос о построении модели нарушителя информационной безопасности в организациях. Автор приводит разработанный алгоритм создания общей модели нарушителя, поясняет этапы построения модели, приводит примеры и дает рекомендации.

**Ключевые слова:** модель нарушителя, информационная безопасность, защита информации, угрозы, риски.

Обеспечение информационной безопасности (ИБ) организаций – очень важная задача. От обеспечения ИБ во многом зависит бесперебойное, устойчивое и надежное функционирование организации в целом, а так же репутация, доля на рынке, снижение издержек и многое другое. При создании концепции обеспечения ИБ, политики безопасности, определении угроз и рисков ИБ организации немаловажную роль играет модель потенциального нарушителя. Составление модели нарушителя – один из этапов составления модели угроз ИБ. Необходимо не только обеспечить защиту информации (ЗИ), но и попытаться выявить категории нарушителей и те методы, которые они используют. Необходимо оценить, от кого стоит защищаться и что именно защищать. Служба безопасности должна «знать» потенциальных нарушителей ИБ, а для этого необходимо построить модель типичного нарушителя.

Система защиты информации (СЗИ) должна быть адекватной уровню важности, секретности и критичности защищаемой информации. Ее стоимость не должна превосходить возможный ущерб от нарушения безопасности охраняемой информации. Одновременно с этим нарушение информационной безопасности должно быть экономически нецелесообразно по сравнению с возможной выгодой от получения, уничтожения, модификации или блокировки защищаемой информации.

Таким образом, полная и правильно разработанная модель нарушителя является гарантией построения адекватной и верной защиты информации и обеспечения ИБ организации.

Существует множество вариантов построения модели нарушителя, как общих, так и частных [1, 2]. Произведя их анализ, выявив достоинства и недостатки, был создан

еще один алгоритм построения общей модели нарушителя. Данная модель не подходит для ИСПДн, так как для этих целей должны использоваться руководящие документы и стандарты.

Нарушитель – это лицо или группа лиц, которые в результате преднамеренных или непреднамеренных действий обеспечивают реализацию угроз информационной безопасности.

Модель нарушителя – это комплексная характеристика, отражающая его возможное психологическое состояние, уровень физической и технической подготовленности, осведомленности, которая позволяет оценить степень его способности в практической реализации проникновения.

Построение модели нарушителя – это процесс классификации потенциальных нарушителей по определенным параметрам. На мой взгляд, при построении общей модели необходимо классифицировать нарушителей по следующим параметрам:

- 1) положение нарушителя;
- 2) тип нарушителя;
- 3) квалификация нарушителя;
- 4) цель нарушителя;
- 5) причины и мотивы нарушителя;
- 6) уровень знаний;
- 7) уровень возможностей;
- 8) время действия;
- 9) место действия;
- 10) состояние объекта защиты;
- 11) качество средств защиты;
- 12) оценка последствий ;
- 13) оценка модели нарушителя;
- 14) рекомендации и замечания.

Рассмотрим каждый этап построения модели нарушителя информационной безопасности более подробно.

- 1) Положение нарушителя по отношению к объектам защиты.

Нарушители могут быть внутренними (из числа персонала) или внешними (посторонними лицами). По данным многих источников и статистических исследований, отношение внутренних инцидентов к внешним оценивается примерно в 75% [3]. Факты многочисленных нарушений часто скрываются организациями или для поддержания имиджа приписываются внешним источникам.

Возможности внутреннего нарушителя существенным образом зависят от установленного порядка, допуска лиц к информации и мер по контролю.

- 2) Тип нарушителя.

Среди внутренних нарушителей можно выделить:

- непосредственных пользователей и операторов информационной системы, в том числе руководителей различных уровней;
- сотрудников службы безопасности и администраторов;
- технический персонал по обслуживанию зданий и систем;
- сотрудники различных уровней должностной иерархии.

Группу внешних нарушителей могут составлять:

- клиенты;
- приглашенные посетители;
- представители конкурирующих организаций;
- сотрудники органов ведомственного надзора и управления;

- представители организаций, взаимодействующих по вопросам обеспечения жизнедеятельности организации;
- любые лица за пределами контролируемой территории.

По рекомендации экспертов в области информационной безопасности, особое внимание следует обращать на вновь принимаемых сотрудников.

Типы нарушителей могут сильно отличаться, варьироваться по составу, возможностям и преследуемым целям – от одиночного нарушителя, действующего удаленно и скрытно, до хорошо вооруженной и оснащенной силовой группы, действующей молниеносно и напролом. Нельзя не учитывать возможности сговора между нарушителями, относящимися к различным типам, а также подкупа и реализации других методов воздействия. На данном этапе необходимо рассмотреть вопрос о возможности или о невозможности сговора нарушителей (для всех типов нарушителей), а также предположения о характере сговора, включая перечисление дополнительных возможностей, которые могут использовать находящиеся в сговоре нарушители [2].

#### 3) Квалификация нарушителя.

- случайный нарушитель (не разбирается в данной области);
- начинающий специалист;
- специалист среднего класса;
- профессионал в данной области;
- специалист наивысшего класса.

#### 4) Цель нарушителя (объект).

Необходимо указать цели нарушителя и произвести их градацию по степени важности и опасности.

Целями потенциального нарушителя могут быть: различная документация; ключевая и парольная информация; информационные системы; информационные ресурсы; помещения, оборудования, сервисы; нематериальные ресурсы (репутация и имидж).

#### 5) Причины и мотивы нарушителя.

Среди причин и мотивов, побуждающих к неправомерным действиям, можно указать следующие: безответственность; ошибки пользователей и администраторов; демонстрация своего превосходства (самоутверждение); «борьба с системой»; корыстные интересы пользователей системы; недостатки используемых информационных технологий [3].

Среди целей, преследуемых нарушителями, отмечаются: любопытство; вандализм; месть; финансовая выгода; конкурентная выгода; сбор информации; военная или политическая выгода.

Исследовав причины нарушений, можно либо повлиять на сами эти причины, либо точнее определить требования к системе защиты от данного вида нарушений или преступлений.

#### 6) Уровень знаний об объектах защиты, окружении и информационной системе.

На данном этапе необходимо произвести градацию по трем уровням: высокий, средний, низкий, составить перечень сведений, в отношении которых предполагается, что они нарушителю недоступны / доступны и обосновать. Обоснованные ограничения на степень информированности нарушителя могут существенно снизить требования к информационной безопасности.

#### 7) Уровень возможностей по доступу к объектам защиты.

(Используемые методы, средства и каналы нарушения ИБ)

С практической точки зрения этот раздел является одним из важнейших в модели нарушителя. Его содержание, по существу, определяется качеством формирования модели угроз верхнего уровня. На данном этапе необходимо произвести градацию по трем уровням: высокий, средний, низкий, составить перечень методов, средств и каналов, в отношении которых предполагается, что они нарушителю недоступны / доступны. Обоснованные ограничения на имеющиеся у нарушителя средства атак могут существенно снизить требования к информационной безопасности и средствам защиты информации.

Нарушители могут использовать: доступные в свободной продаже аппаратные средства и программное обеспечение; специально разработанные технические средства и программное обеспечение; специальные технические средства перехвата визуальной и аудио информации; пассивные средства перехвата; средства, входящие в информационную систему или систему ее защиты, и их недостатки; специализированные утилиты; внедрять программные закладки и «черных ходы» в систему; производить сбор информации и данных; активно отслеживать модификации существующих средств обработки информации и т.д.

Основными каналами атак могут являться: каналы связи (как внутри, так и вне контролируемой зоны), не защищенные от НСД к информации организационно-техническими мерами; каналы непосредственного доступа к объекту атаки (акустический, визуальный, физический); машинные носители информации; технические каналы утечки; сигнальные цепи; канал утечки за счет электронных устройств негласного получения информации и т.д.

#### 8) Время действия.

- постоянно;
- в определенные временные интервалы;
- в момент обработки информации;
- в момент передачи информации;
- в процессе хранения информации;
- в процессе функционирования информационной системы;
- в период неактивности компонентов системы.

#### 9) Место действия.

Указать предполагаемое месторасположение нарушителя во время нарушения ИБ.

- без доступа на контролируемую территорию организации;
- с контролируемой территории без доступа в здания и сооружения;
- внутри помещений, но без доступа к техническим средствам системы;
- с рабочих мест конечных пользователей (операторов);
- с доступом в зону данных (баз данных, архивов и т.п.);
- с доступом в зону управления средствами обеспечения безопасности.

На мой взгляд, в модель нарушителя также необходимо включить следующие пункты:

#### 10) Состояние объекта защиты.

#### 11) Качество средств защиты.

#### 12) Оценка последствий.

Необходимо дать оценку возможным последствиям и ущербу от действий нарушителя.

#### 13) Оценка модели нарушителя.

На данном этапе необходимо оценить полученную модель нарушителя. Информация, полученная в пунктах №10, 11 и 12, поможет оценить актуальность и

адекватность составленной модели. Анализируя данную информацию, необходимо ответить на вопросы:

- Может ли нарушитель обойти СЗИ?
- Достаточно ли хорошо обеспечивается ЗИ? Или достаточно просто улучшить ЗИ и данный нарушитель потеряет свою актуальность.
- Необходимо ли защищать данную информацию?
- Какой ущерб понесет организация(предприятие) при потере / искажении данной информации?

Существует вероятность того, что после анализа полученной модели нарушителя и ответов на подобные вопросы модель потеряет свою актуальность или будет признана неадекватной по отношению к данной организации (предприятию). В каждом конкретном случае, исходя из специфики организации и защищаемой информации, может быть определена модель, которая должна быть адекватна реальному нарушителю.

#### 15) Рекомендации и замечания.

После завершения построения модели нарушителя предпочтительно выработать предварительные рекомендации по ИБ и указать замечания.

Целесообразно строить несколько отличающихся моделей разных типов нарушителей и представить в виде перечисления нескольких вариантов. Каждый вид нарушителя должен быть охарактеризован значениями характеристик, приведенных выше. Для построения модели нарушителя используется информация от служб безопасности и аналитических групп: о существующих средствах доступа к информации и ее обработки; о возможных способах перехвата данных на стадии передачи, обработки и хранении; об обстановке в коллективе и на объекте защиты; сведения о конкурентах; об имевших место свершившихся случаях нарушения ИБ.

Модель нарушителя рекомендуется составлять в виде таблицы. Предпочтительней всего применять теорию игр. Для построения модели нарушителя использовать матрицу нападений (ценностей), матрицу уязвимостей/ целей / средств и т.п. Похожие матрицы строятся при создании защитной системы и обеспечении ИБ в организациях: матрица угроз/средств защиты, матрица вероятностей наступления угроз.

Используя данный алгоритм, можно построить частную модель нарушителя информационной безопасности в различных организациях, учитывая специфику их деятельности. Исключением будут те организации, для которых данный алгоритм прописан в стандартах и руководящих документах. Правильное построение модели нарушителя позволяет проектировать и реализовывать систему обеспечения защиты информации и обеспечивать информационную безопасность в организациях.

### Литература

1. Методические материалы ФСТЭК. "Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных" от 15 февраля 2008 г [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.fstec.ru](http://www.fstec.ru), свободный. Яз. рус. (дата обращения 29.09.2011).
2. Методические материалы ФСБ России. «Методические рекомендации по обеспечению с помощью криптосредств безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных с использованием средств автоматизации», утвержденные руководством 8 Центра ФСБ России

21.02.2008 № 149/54-144. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.fsb.ru](http://www.fsb.ru), свободный. Яз. рус. (дата обращения 29.09.2011).

3. Информационный портал, посвященный вопросам управления информационной безопасностью [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.iso27000.ru](http://www.iso27000.ru), свободный. Яз. рус. (дата обращения 29.09.2011).

УДК 539.23, 535.3

## **ФОТОСТИМУЛИРОВАННАЯ ПЕРЕСТРОЙКА СТРУКТУРЫ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ НАНОКОМПОНЕНТОВ СЛОЕВ ПОЛИМЕТИНОВЫХ МОЛЕКУЛ**

**А.А. Старовойтов**

Исследованы механизмы изменения конформационного состава и пространственной переориентации наноконпонентов органических тонких пленок под действием лазерного излучения. Разработана модель перестройки структуры слоя в результате резонансного фотовозбуждения. В слоях полиметиновых молекул на стеклянной подложке выделено два мономерных стереоизомера и две агрегированные формы. Каждый компонент может иметь две пространственные ориентации, отличающиеся углами наклона дипольного момента оптического перехода. Фотовозбуждение вызывает необратимое преобразование типа ориентации слоя, а также взаимное преобразования наноконпонентов слоя.

### **Введение**

Молекулярные слои, состоящие из наноконпонентов используются при создании солнечных батарей, диодов, дихроичных цветных светофильтров для устройств на жидких кристаллах и полевых транзисторов для оптоэлектронных устройств [1], а также для записи информации с помощью фото- [2] или термодеструкции [3] конпонентов слоя. Фотостимулированные процессы в слоях органических молекул (изменение пространственной ориентации молекулярных конпонентов относительно поверхности, а также изменение конпонентного состава слоя) дают принципиальную возможность записи и считывания информации оптическими методами без деструкции слоя [4]. В этой работе исследованы процессы фотостимулированной перестройки молекулярных слоев на примере полиметиновых красителей (ПК) на стеклянных подложках [5].

### **Образцы и методики**

Объекты исследования – слои симметричных дикарбоцианиновых соединений с концевыми гетероциклическими группами разного строения и с разной величиной электронодонорности  $\Phi_0$  (рис. 1, а). Слои наносились на вращающиеся стеклянные подложки из раствора ПК в этиловом спирте. Пространственная ориентация дипольного момента перехода молекулярных конпонентов оценивалась по спектрам поляризованного поглощения. Поверхностная концентрация молекул во всех конпонентах ( $N_{sm}$ ) определялась по концентрации молекул ПК в этанольном растворе, полученном при смывании слоя. Фотостимулированная перестройка структуры слоя осуществлялась излучением моноимпульсных лазеров (длительность импульса  $\sim 20$  нс, поверхностная плотность энергии на образце  $E_s \leq 100$  мДж).

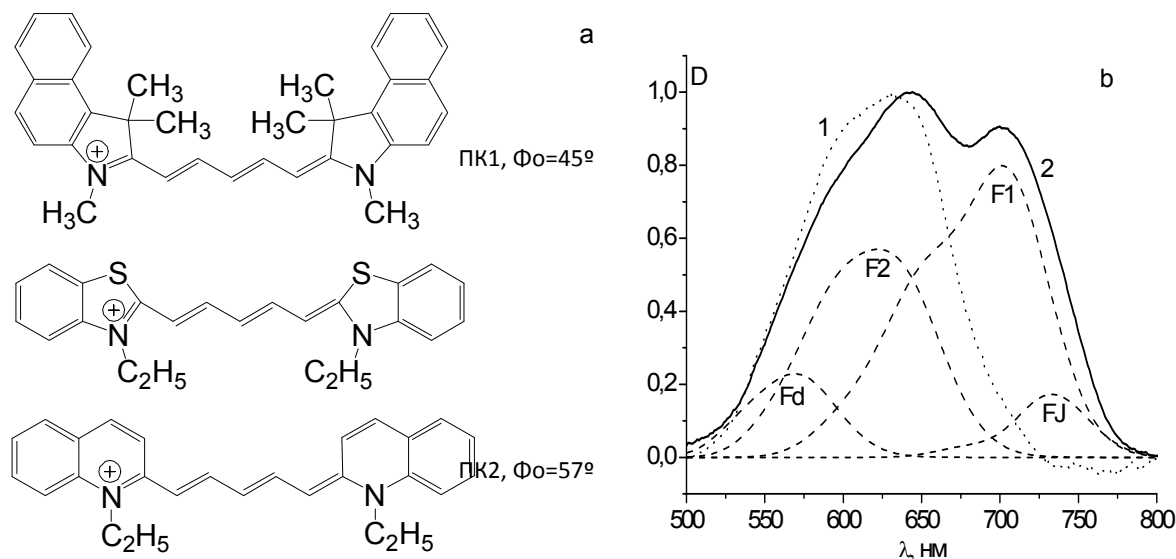


Рис. 1. а) Структура исследованных ПК; б) Нормированные спектры поглощения и спектры молекулярных компонентов слоев ПК1. Оптическая плотность поглощения в максимуме  $D_{\max}$ : 0.00357(1), 0.047071(2).

### Результаты исследований

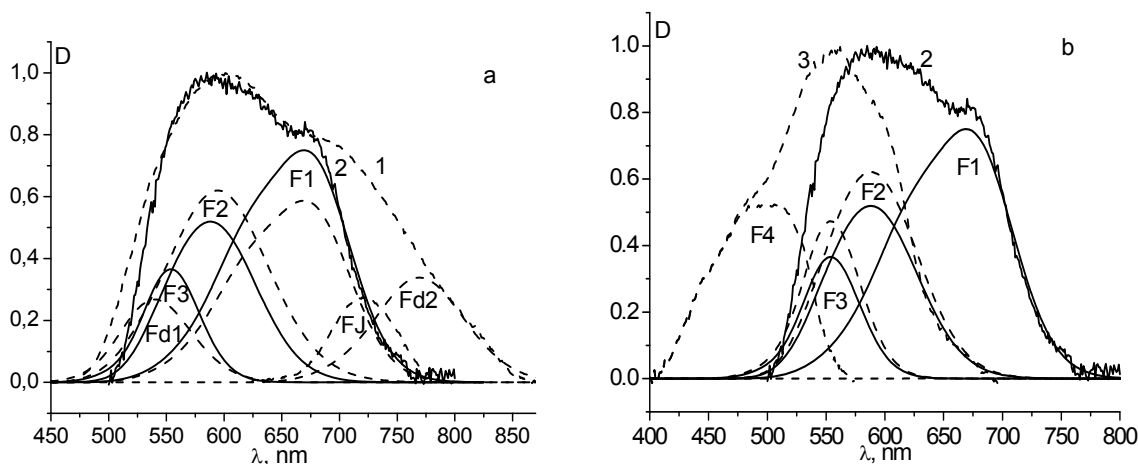


Рис. 2. Нормированные спектры поглощения и спектры молекулярных компонентов слоев ПК2. Оптическая плотность поглощения в максимуме  $D_{\max}$ : 0.0405 (1), 0.0052 (2), 0.0027 (3)

Сопоставление спектров поглощения слоев разной толщины показало, что компонентный состав зависит от  $N_{sm}$  и от  $\Phi_0$ . В спектрах толстых слоев ПК1 (рис. 1, б) содержатся полосы двух мономерных стереоформ (F1 и monocis-изомер F2), полоса димера (Fd1) и полоса J-агрегата (FJ). В тонких слоях присутствуют только мономеры. Уменьшение  $N_{sm}$  приводит к падению относительной концентрации F1 и к росту F2. В субмонослоях ПК1 ( $N_{sm} < 3 \cdot 10^{13}$  мол/(см $\cdot$ см)) существует только полоса F2. Общие закономерности влияния поверхностной концентрации на компонентный состав слоев ПК2 и ПК3 сходны. На рис. 2 представлены спектры поглощения слоев ПК2. В толстых слоях присутствуют формы F1, F2 и ассоциаты Fd1 и FJ. Увеличение  $\Phi_0$



концевых групп вызывает появление еще одной длинноволновой полосы (Fd2), вероятнее всего, второй полосы димера. Уменьшение  $N_{sm}$  приводит к падению концентрации F1, росту концентрации F2 и к появлению двух коротковолновых форм (вначале F3, а затем F4). Облучение толстого слоя ПК1 моноимпульсами с  $\lambda_{exc} = 694$  нм, преимущественно возбуждающими F1, приводят к изменению углов ( $\theta_i$ ) между дипольными моментами переходов с поглощением, относительно вертикали к поверхности подложки. При  $E_s \geq 10$  мДж/(см·см) величины  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  и  $\theta_J$  растут, угол  $\theta_d$  уменьшается. Зависимости  $\theta_i$  от суммарной плотности энергии возбуждения ( $\Sigma E$ ) имеют насыщающийся характер (рис. 3, а). Предельно достижимое значение углов  $\theta_{isat}$  в области насыщения и величины  $\Sigma E_{sat}$ , соответствующие выходу на насыщение, зависит от  $E_s$  и от отношения плотности поглощения D694 к исходной величине  $N_{sm}$  (рис. 3, б). При малых значениях  $\Pi_s \leq 8$  мДж/(см·см) относительные изменения углов ориентации F2 и Fd существенно меньше, чем для F1 и FJ.

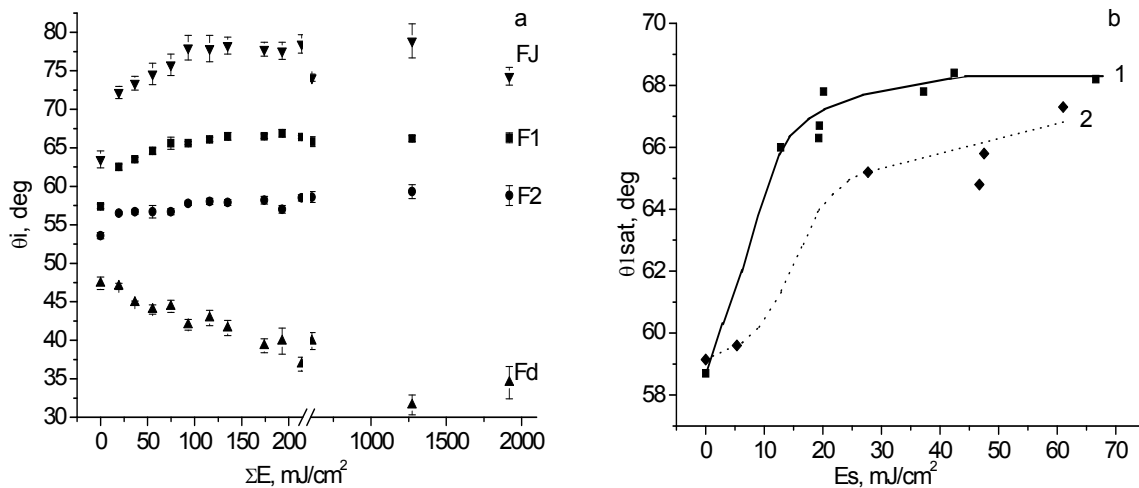


Рис. 3. а) Изменение угла ориентации компонентов слоя ПК1 в результате возбуждения моноимпульсами с  $\lambda_{exc} = 694$  нм и  $E_s = 19$  мДж/(см·см); б) Зависимость величины предельных углов ориентации ( $\theta_{isat}$ ) формы F1 слоя ПК1 от величины  $E_s$ . Отношение  $(D694/N_{sm}) \cdot 10^{17} = 5.45 \pm 0.5$  см·см/молекул (1),  $3.91 \pm 0.6$  см·см/молекул (2)

Переход к импульсам излучения с  $\lambda_{exc} = 730$  нм, возбуждающим FJ в стоксовой и F1 в антистоксовой областях спектра поглощения, не приводит к принципиальным изменениям характера перестройки слоя. Меняются лишь количественные соотношения между  $E_s$  и  $\theta_{isat}$ . При  $(D694/N_{sm}) \cdot 10^{17} = 4.3$  см·см/молекул изменения углов  $\theta_2$  и  $\theta_d$  наблюдаются только при  $E_s > 30$  мДж/(см·см). При  $E_s = 100$  мДж/(см·см) меняются все углы, но величина  $\theta_{isat}$  ( $65.5^\circ$ ) заметно меньше предельных значений  $\theta_{isat}$  при  $\lambda_{exc} = 694$  нм.

Резонансное возбуждение компонентов слоя ПК1 приводит к падению относительной концентрации F2 и димеров и к росту концентрации F1 и FJ (рис. 4, а). При малых  $E_s$  зависимости  $N_i/N_{sm} = f(\Sigma E)$  насыщаются. При больших  $E_s$  относительная концентрация возбуждаемых компонентов по мере роста  $\Sigma E$  сначала увеличивается, а затем падает. Наблюдаемые закономерности, очевидно, связаны с деструкцией возбуждаемых компонентов. При облучении слоя ПК3 происходит увеличение оптической плотности в области полос поглощения F1 и FJ и падает поглощение в полосах F2, Fd1 и Fd2 (рис. 4, б). Это подтверждает вывод о связи полосы Fd2 с димерами.

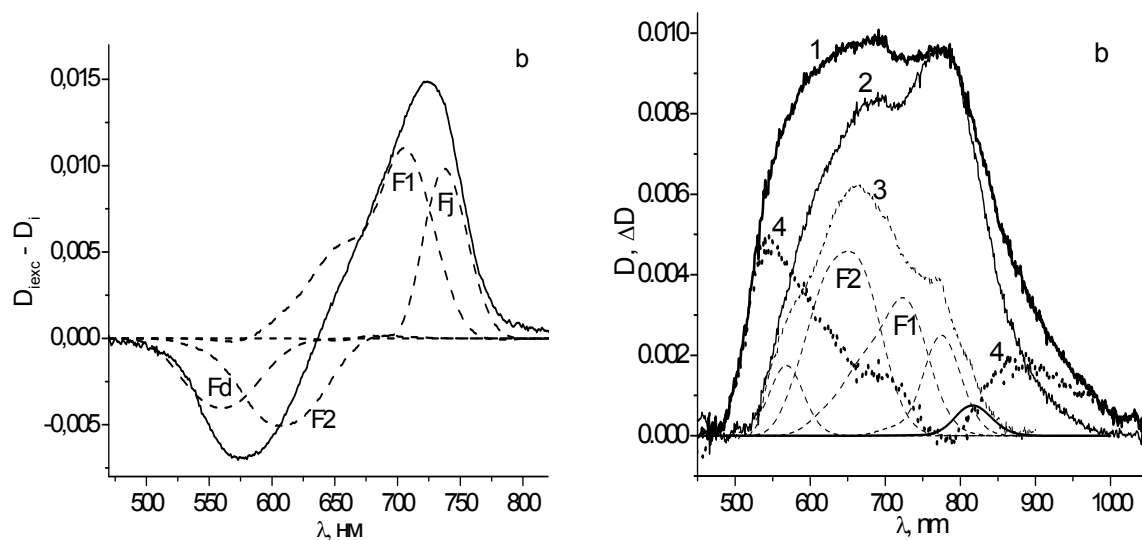


Рис. 4. а) Разность спектров слоя ПК1 и спектров молекулярных компонентов до и после возбуждения моноимпульсом с  $\lambda_{\text{exc}} = 694$  нм и  $E_s = 19$  мДж/(см $\cdot$ см); б) Спектры поглощения слоев ПК3 до (1,3) и после (2) облучения. 4 – разность спектров 1 и 2. Слои нанесены из растворов с  $K_{\text{max}}$  (1/см) = 583 (1,2), 449 (3)

### Обсуждение результатов и выводы

Наблюдаемые зависимости компонентного состава слоя от толщины связаны с асимметрией взаимодействия молекулярных компонентов с подложкой, приводящей к асимметрии внутримолекулярного распределения электронной плотности. Степень такой асимметрии растет по мере увеличения величины  $\Phi_0$  и уменьшения толщины слоя. Сопоставление с растворами несимметричных ПК [6] позволяет сделать вывод, что F2, F3 и, возможно, F4 имеют строение мономолекулярных *cis*-стереоизомеров, равновесные концентрации которых растут по мере увеличения электронной асимметрии молекулы ПК в слое.

Пространственная перестройка невозбуждаемых излучением молекулярных форм (Fd и F2), увеличение вероятности перестройки этих форм с ростом  $E_s$  и отношения  $D_{694}/N_{\text{sm}}$ , позволяют сделать вывод, что изменение углов ориентации этих форм связано с нагревом слоя.

Увеличение вероятности перестройки ориентации компонентов слоя при преимущественном возбуждении *all-trans*-изомера F1, по сравнению со случаем одновременного возбуждения F1 и J-агрегата, свидетельствует о связи первичных этапов перестройки с процессами стереоизомеризации в возбужденном состоянии F1. Вероятность этих процессов увеличивается в результате нагрева слоя.

### Литература

1. Wright J.D., Molecular Crystals. – Cambridge: Cambridge University Press, 1995, 221 p.
2. Wang Yang, Gu Donong, Gan Fuxi // Phys. Stat.Sol. A, 2001, v.186, №1, p. 71–77.
3. Kravets V.G., Vinnichenko K.L., Prygun O.V. // Semiconduct. Phys., Quant. Electr. and Optoelectronics, 2000, v.3, №4, p.520–522.

4. Kaliteevskaya E.N., Krutyakova V.P., Razumova T.K., and Starovoytov A.A., Proc. SPIE, 2007, v. 6728.
5. Ищенко А.А., Строение и спектрально-люминесцентные свойства полиметиновых красителей. – Киев: Наукова Думка, 1994, 232 с.
6. Разумова Т.К., Гарновский А.Н. // Оптика и спектроскопия, 1992, т.73, №6, с. 1113–1126.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ХАЛЬКОГЕНИДОВ СВИНЦА РАЗНОГО РАЗМЕРА

Е.В. Ушакова

**Ключевые слова:** квантовые точки, поглощение, люминесценция, перенос энергии, PbS

Полупроводниковые квантовые точки на основе сульфида свинца перспективны для использования в качестве фоточувствительных элементов и люминофоров в ближней ИК области в связи с возможностью контролируемого изменения спектров поглощения и люминесценции, а также динамики носителей заряда в устройствах на их основе. В большинстве таких устройств используются слои плотноупакованных нанокристаллов, что приводит к сильному взаимодействию между ними, меняющему оптические параметры слоя. В частности, возникают условия для процесса безызлучательного переноса энергии фотовозбуждения между квантовыми точками, который может приводить к существенному изменению параметров их люминесценции. Поэтому определение закономерностей этого процесса, включая зависимости от размеров нанокристаллов, является важной задачей при создании эффективных устройств нанопотоники ближнего ИК диапазона.

Целью проекта являлось проведение экспериментальные исследования процесса резонансного безызлучательного переноса энергии фотовозбуждения в системах плотноупакованных PbS квантовых точек разных размеров с оптическими переходами в области от 800 до 1900 нм и их смесей.

В ходе выполнения проекта была разработана методика внедрения смесей квантовых точек PbS разного размера с разным молярным соотношением КТ-доноров и КТ-акцепторов в тонкослойные пористые матрицы. В результате анализа спектров поглощения и люминесценции смесей квантовых точек PbS разных размеров в тонкослойных матрицах, а также кинетики затухания люминесценции квантовых точек PbS разных размеров и их смесей показано наличие эффективного переноса энергии фотовозбуждения в системах плотноупакованных квантовых точек PbS разных размеров и установлены основные закономерности процесса переноса энергии.

Полученные данные могут быть использованы для создания нового поколения вольтаических устройств ИК-диапазона (термо- и фотоэлектрических устройств, элементов солнечных батарей и т.д.) с существенно более высокими эксплуатационными параметрами, а также принципиально новых устройств нанометрового масштаба (ИК-люминофоры, ИК-матрицы для визуализации изображений, биосенсоры в прозрачной для воды и тканей области спектра).

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>НАУЧНЫЕ РАБОТЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ХLI НАУЧНОЙ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ НИУ ИТМО .....</b>	<b>3</b>
Акопян М.Г., Менделеева Л.М. Обзор технических решений по космическим радиотелескопам .....	4
Антонов С.Е. Автоматизация моделирования прецизионных параллельных механизмов .....	6
Бирилло Е.И., Григорьев В.В., Соколова Д.Н., Коровьяков А.Н., Литвинов Ю.В. Оценка влияния случайных возмущений на функционирование следящих систем .....	13
Булеев А.А., Бахтин М.А. Управление интенсивностью солитонов, образующихся при нелинейном взаимодействии фемтосекундных лазерных импульсов в области аномальной групповой дисперсии среды .....	17
Вавулин Д.Н., Пантелеев А.В., Арысланова Е.М., Альфимов А.В., Андреева О.В., Чивилихин С.А. Исследование размеров нанонеоднородностей в поглощающих и рассеивающих средах .....	22
Вершинина А.А., Мурашова С.В. Анализ внешнеэкономического взаимодействия Китая и России с центральноазиатским регионом .....	27
Виноградова А.А. Генератор Коха для одномерных объектов .....	32
Гавричев В.Д., Дмитриев А.Л., Котова Е.И., Никущенко Е.М. Применение пористых стекол в разработках волоконно-оптических измерителей температуры .....	38
Гедрис О.Д., Тропченко А.Ю. Сравнение алгоритмов сжатия видео на основе стандартов H.264 и WEBM (VP8) .....	41
Голубев А.М. Модернизация рефрактометра Аббе путем его компьютеризации и обработки окулярного изображения .....	44
Горбунова Т.Н., Юсова В.В. Влияние законодательства в области деривативов на развитие российского рынка производных финансовых инструментов .....	47
Гусаров В.Ф., Тимофеев А.Н. Методы коррекции влияния рефракции атмосферы на геодезические измерения. Преимущества многоспектральных методов .....	52
Дайнеко В.Ю. Динамические байесовской сети в системах обнаружения вторжений .....	54
Ерков К.А., Демидова Г.Л. Обзор перспективных электростанций в современной электроэнергетике .....	59
Ермолаев П.А., Волынский М.А. Сопровождение областей интереса при исследовании объектов с помощью микроинтерферометра малой когерентности на основе данных о статистике геометрических примитивов .....	65
Ефимчик Е.А., Лямин А.В. Среда разработки виртуальных лабораторий для СДО ACADEMICNT .....	71
Закатин М.И., Кулаков И.Ю., Ефремова Е.И. Методы фальсификации виноградных вин в историческом аспекте и на современном этапе .....	76
Замаратских Д.С. Нанопорошки: свойства, получение, применение .....	79
Зацепина М.Е., Кирилловский В.К. Компьютеризация и исследование теневого метода Фуко .....	85
Иванов А.Н., Носова М.Д. Дифракционный измеритель угловых перемещений .....	90
Итин А.Л., Демин А.В., Колесников Ю.Л. Сенсор концентрации CO <sub>2</sub> в атмосфере на основе Фурье-спектрометра .....	94
Ишанин Г.Г., Шевнина Е.И., Тихонов А.Н. Проходной измеритель средней мощности излучения технологических лазеров .....	97
Пятковская Е.Ю., Карашук Т.А. Исследование органолептических показателей качества темного шоколада экспертным методом .....	101
Кирильчук В.Е., Кудряшов Б.Д. Метод предсказаний в алгоритме сжатия изображений с использованием вейвлетного преобразования .....	105
Коломыйко У.Н., Виноградова А.В. Актуальные проблемы рынка экологически чистых продуктов .....	107

Конев Л.С., Шполянский Ю.А. Численное моделирование эволюции импульсов со сверхшироким спектром в оптическом волноводе с учетом прямой и обратной волн	113
Копылов Д.С., Лямин А.В. Система единого входа в гетерогенных образовательных системах	119
Кудинов С.А., Стародубцев А.А. Система информационно-аналитического сопровождения производства	123
Кузнецов М.В., Норин А.В. Уравнения математической генетики типа костицына с непрерывно-распределенными признаками	128
Кузнецова О.В., Романова Е.Б. Методика разработки 3d-модели печатной платы в САПР Компас	131
Куликов П.В., Николаев Д.Г., Штенников Д.Г. Система дополненной реальности для проведения занятий по химии в средней школе	134
Курочкин Д.Э., Бураков П.В. Концепция процессного подхода к управлению информационным развитием предприятия	138
Лабковская Р.Я. Ткалич В.Л. Исследование напряженно-деформированного состояния сильфонных упругих элементов систем управления	141
Ловлин С.Ю., Цветкова М.Х. Компенсация ошибки подразбиения датчика угловых перемещений типа renishaw в прецизионных электроприводах	143
Герасимов Д.Н., Лызлова М.В. Адаптивное управление крутящим моментом в инжекторных двигателях внутреннего сгорания	149
Лямин А.В., Порфиоров А.А. Информационная среда для поддержки групповой учебной проектной деятельности в области разработки программного обеспечения	156
Манушин И.А., Кудряшов Б.Д. Использование модели массового параллелизма OPENCL для разработки программ	162
Молев Ф.В., Коняхин И.А. Исследование алгоритмов измерения координат изображения на матричном анализаторе	163
Морозов Ю.С., Филиппов А.Н. Применение облачных технологий в САПР ТП	167
Могильная Е.И., Виноградова А.В., Нигматулина К.С. Идентификация ценных видов шерсти и развитие методов обнаружения их фальсификации	171
Никонова И.Н., Мурашова С.В. Проблемы использования комплекса международного маркетинга в развитии внешнеэкономической деятельности фирмы	174
Пантелеев А.В., Громов А.В., Вавулин Д.Н., Чивилихин С.А. Исследование синтеза наночастиц золота и возможности его применения для улучшения дизельного топлива	177
Полонская Л.В., Ишанин Г.Г. Методы расчета коэффициента пропускания при прохождении излучения через атмосферу	181
Тушев С.А., Поляков Н.А. Лабораторный стенд для исследования систем следящего электропривода с компьютерным управлением	187
Полякова Э.С., Бондаренко И.Б. Методы анализа и прогнозирования сложных сигналов	192
Косяков М.С., Пономарев М.В., Иванов Д.В., Шполянский Ю.А. Применение метода Монте-Карло для расчета цен опционов азиатского типа с дискретными дивидендами	196
Пятковская Е.Ю., Прусс А.А. Изучение классификаций сыров, существующих в отечественной нормативно-технической и технологической документации	202
Рыбин С.С., Скворцов А.М. Свойства кремния, обеспечивающие его использование в фотонике	207
Самойленко Я.В., Жигулин Г.П. Методы статистического анализа при использовании биометрической идентификации	211
Ишанин Г.Г., Свинина Ю.О. Приемник на термоупругом эффекте. Параметры и характеристики	216

Сиваков И.А. Исследование возможности применения батарейных приемников теплового потока в нестационарной теплометрии .....	223
Скшидлевский А.А., Тихонов Д.О. Применение android-устройств в образовательном процессе: портативная цифровая лаборатория .....	229
Смехов А.А., Коняхин И.А. Исследование распределения облученности виньетируемого изображения с помощью компьютерного моделирования в автоколлимационных системах .....	233
Смирнов Н.А., Субботин Д.А. Наблюдатель возмущений в системе управления скоростью следящего электропривода .....	238
Субботин Д.А. Формирование задающего воздействия в виде трапециидальной диаграммы сканирования .....	243
Субботин Д.А., Сергеева М.Е. Оптимальное управление движением следящего электропривода с трехмассовой исполнительной осью и его моделирование в среде Matlab .....	249
Дударенко Н.А., Нуйя О.С., Терегулов Б.З., Ушаков А.В. Оценка эффективности структуры многомерной динамической системы с помощью функционалов вырождения .....	254
Волхонский В.В., Трапш Р.Р. Анализ эффективности охранных извещателей при пассивных воздействиях нарушителя .....	260
Трегулов Т.С. Методы встраивания зашифрованной информации в цифровые изображения форматов сжатия с потерями для скрытой передачи данных и для защиты авторских прав	265
Трухницкая Ю.Д., Хахаев И.А. Open Source решения для систем управления проектами и для создания диаграмм связей .....	270
Филатов В.И., Потапов А.С. Распознавание формы фигур и жестов, введенных с помощью сенсорной панели .....	274
Чирков К.Ф., Лукичев Д.В. Синтез регуляторов электропривода системы позиционирования с использованием частотных характеристик .....	278
Шаветов А.В. Сенсоры для тактильного очувствления робототехнических устройств .....	284
Шиганов А.В., Утамышева Д.Р., Валитова Ю.О. Замер кровотока под слизистой желудка методом доплеровской флоуметрии .....	289
Гвоздев С.С., Щербакова Е.А. Принципы унификации производственной и эксплуатационной документации .....	292
Ушаков А.В., Яицкая Е.С. Проблема коммутации структуры пространства линейных двоичных динамических систем .....	296
Гвоздев С.С., Попова Е.В., Яковлева И.В. О конкурсе выпускных квалификационных работ специалистов, бакалавров и магистерских диссертаций «Приборостроение. Опотехника. фотоника и оптоинформатика» в 2011 году .....	302

**НАУЧНЫЕ РАБОТЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ «НАСЛЕДИЕ М.В. ЛОМОНОСОВА. СОВРЕМЕННЫЕ  
ПРОБЛЕМЫ НАУКИ И ТЕХНИКИ, РЕШАЕМЫЕ МОЛОДЫМИ УЧЕНЫМИ  
НИУ ИТМО», КОНКУРСОВ «МОЛОДЫЕ УЧЕНЫЕ НИУ ИТМО»  
И «УЧЕНЫЙ ГОДА-2011» .....**

Денисюк А.И., Комисаренко Ф.Э. Прецизионное перемещение и фиксация диэлектрических наночастиц под электронным пучком .....	306
Кузнецов В.А., Игнатова О.В. Наследие М. Ломоносова в радиоэлектронике .....	308
Кулешова Е.Н., Горбачев А.А. Оптико-электронная система для измерения линейных перемещений поршня в цилиндре клапана .....	313
Лабковская Р.Я. Моделирование статики и динамики элементной базы .....	317
Ушакова Е.В., Черевков С.А., Литвин А.П., Парфенов П.С. Квантовые точки, излучающие в ИК диапазоне .....	320
Цымжитов Г.Б. Слабые стороны при работе с системой «Банк-клиент» .....	324

---

Черевков С.А., Ушакова Е.В., Богданов К.В. Определение структурно-химических особенностей нанокристаллов CDHGSE методом спектроскопии комбинационного рассеяния света .....	327
Денисюк А.И. Создание металлических наноструктур и исследование их свойств с помощью электронных и ионных сфокусированных пучков .....	329
Кухтевич И.В., Евстапов А.А. Микрофлюидные чипы для фиксации биообъектов .....	329
Сачков Д.Ю. Мощные эрбиевые микролазеры с перестраиваемым спектром генерации ....	331
Созинова Е.Н. Общая модель нарушителя информационной безопасности .....	334
Старовойтов А.А. Фотостимулированная перестройка структуры и пространственной ориентации наноконпонентов слоев полиметиновых молекул .....	339
Ушакова Е.В. Исследование переноса энергии в системах квантовых точек халькогенидов свинца разного размера .....	343

# **АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО

Зав. РИО

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати 28.06.12

Заказ № 2531

Тираж 100 экз.

Отпечатано на ризографе

Н.Ф. Гусарова