

1' 2008

**Известия  
СПБГЭТУ "ЛЭТИ"**

Ежемесячный журнал



## Содержание

### Редакционная коллегия:

Пузанков Д. В.  
(председатель)  
Афанасьев В. П.  
(заместитель председателя)  
Кутузов В. М.  
(заместитель председателя)  
Мейев В. А.  
(ответственный секретарь)  
Мальшев В. Н.  
("Радиоэлектроника  
и телекоммуникации")  
Соломонов А. В.  
("Физика твердого тела  
и электроника")  
Герасимов И. В.  
("Информатика, управление  
и компьютерные технологии")  
Путов В. В.  
("Автоматизация  
и управление")  
Прокофьев Г. И.  
("Электротехника")  
Филатов Ю. В.  
("Приборостроение  
и информационные  
технологии")  
Попечителей Е. П.  
("Биотехнические системы  
в медицине и экологии")  
Степанов С. А.  
("Экономика и менеджмент")  
Маркова О. Ю.  
("Гуманитарные науки")  
Вендик О. Г.  
("История науки,  
образования и техники")  
Лысенко Н. В.  
("Современные технологии  
в образовании")

\* \* \*

197376, Санкт-Петербург,  
ул. Проф. Попова, 5  
СПБГЭТУ "ЛЭТИ"  
тел.: 346-28-57

### **ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Герасимов И. В., Калмычков В. А., Лозовой Л. Н., Матвеева Л. Н.  
Парадигма виртуальности: место и роль в проектной деятельности ..... 3  
Шеховцов О. И., Шифрин Б. М. Разработка модели  
управления варочной установкой на основе нечеткой логики ..... 8

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ**

Путов В. В., Шелудько В. Н., Зунг Ч. А., Короп В. Я., Фьонг В. К.  
Прямая параметрическая адаптация с мажорирующими  
функциями для управления трехмассовыми нелинейными  
электромеханическими объектами  
с двухрезонансными упругими деформациями ..... 15  
Лукомский Ю. А., Шпекторов А. Г. Непрямая квадратичная задача  
при синтезе систем управления движением скоростных судов ..... 26

### **РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ**

Чемаров А. О. Устойчивая оценка уровня шума  
для систем радиомониторинга ..... 35  
Пилипко Н. Е., Рычажников А. Е. Особенности работы КМОП  
фотоприемника в режиме бегущего электронного затвора ..... 40

### **ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Теплякова А. В. Дифракция на конечной системе  
цилиндрических включений со сложной структурой ..... 55  
Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Влияние удельного  
акустического сопротивления протектора на длительность  
импульса, излучаемого преобразователем ..... 60  
Грушевицкий Р. И., Килочек Д. В., Павлов П. А. Устройство  
регистрации сигналов унифицированного ряда лазерных  
динамических гониометров ..... 64

### **ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА**

Голубченко Н. В., Иошт М. А., Мошников В. А.  
Исследование слоев на основе селенида свинца  
методами сканирующей туннельной микроскопии ..... 71  
Перес Н. Исследование факторов, влияющих  
на точность преобразования электрических импульсов  
в пропорциональный оптический сигнал ..... 76  
Пинаев В. В., Жуков Е. В. Методика градуировки игольчатого  
накатателя в установке реактивного магнетронного распыления ..... 81

**ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ**

*Степанов С. А.* Типовая модель системы качества в техническом вузе ..... 85

*Королев А. В., Королев Ю. А.* Использование аналитически-численного метода в математических моделях экономики ..... 90

**ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

*Азарова Л. В., Почекаев Р. Ю.* Тенденции развития PR-деятельности в России и новые подходы к подготовке специалистов в сфере коммуникации ..... 97

*Маркова Т. Б.* Информационный подход в анализе развития библиотек ..... 102

**ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ**

*Вендик И. Б., Вендик О. Г.* Ежегодный международный студенческий семинар по применению новых физических явлений в технике СВЧ ..... 113

*Лавренко Ю. Е.* Первые разработки радиосистем со сложным сигналом в ЛЭТИ ..... 118

**Учредитель:**

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)»  
197376, Санкт-Петербург,  
ул. Проф. Попова, 5  
Тел.: (812) 346-44-87  
Факс: (812) 346-27-58

**Свидетельство о регистрации**

П.И.№ ФС2-8390  
от 04.12.2006 г. выдано  
Управлением Федеральной службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия по Северо-Западному федеральному округу

\* \* \*

**Редакторы:**

*Э. К. Долгатов, Н. В. Лукина,  
Н. В. Рощина, И. Г. Скачек*  
Комп. верстка:  
*Е. Н. Паздниковой,  
Е. В. Карасевой, А. П. Бартош*

Подписано в печать 21.01.08 г.

Формат 60×84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 15,0.

Тираж 300 экз. Заказ 5.

**Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"**

197376, Санкт-Петербург,  
ул. Проф. Попова, 5  
Тел.: (812) 346-45-23  
Факс: (812) 346-28-56

*Уважаемые авторы!*

При подготовке материалов к изданию пользуйтесь требованиями, предъявляемыми к оригиналам работ, публикуемых в Издательстве СПбГЭТУ "ЛЭТИ".

С требованиями вы можете ознакомиться в Издательстве СПбГЭТУ "ЛЭТИ", а также на сайте [www.eltech.ru/information/publishers/index.htm](http://www.eltech.ru/information/publishers/index.htm) файл Требования НТЛ.doc

**Издание входит в перечень изданий ВАК России**

**ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 45821 ПО ОБЪЕДИНЕННОМУ КАТАЛОГУ "ПРЕССА РОССИИ". ТОМ 1 "ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ"**

Подписка производится в любом почтовом отделении России



УДК 519.713; 530.145

*И. В. Герасимов, В. А. Калмычков,  
Л. Н. Лозовой, И. В. Матвеева*

## **ПАРАДИГМА ВИРТУАЛЬНОСТИ: МЕСТО И РОЛЬ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Обсуждаются приложения парадигмы виртуальности в проектной деятельности. Цель – акцентировать внимание на тех сторонах процессов виртуализации квантовых объектов информации, которые в наибольшей степени влияют на архитектуру сред виртуальных инструментов (VI-сред) САПР.*

### **Виртуализация, комплементарное проектирование, квантовая логика, VI-среда**

1. *Виртуальность* – особая философская категория, стоящая в ряду таких категорий, как время, пространство, сущность и т. д. Впервые в естественно-научную картину мира виртуальность вошла через физику высоких энергий, которая ввела в качестве теоретического объекта частицы, существующие только во время акта взаимодействия других частиц.

Круг вопросов, обсуждаемых в данной статье, – не о физической реальности, в которой разворачиваются события микромира, а о приложениях парадигмы виртуальности в проектной деятельности. Цель – акцентировать внимание на тех сторонах процессов виртуализации квантовых объектов информации, которые в наибольшей степени влияют на архитектуру сред виртуальных инструментов (VI-сред) САПР.

2. *Виртуальное* – это значит одно из возможных, потенциально осуществимых, проявляющееся в воображаемой (ментальной) или какой-либо иной, отличной от реальной, среде представления; языковые конструкции сопоставляются виртуальным объектам. Так возникает удобная новая единица интуитивного смысла, отвечающая не наблюдаемым фактам, но промежуточным единицам выражения в принятом языке.

Язык квантовой теории дискретно-непрерывен, что, по мнению многих специалистов в области искусственного интеллекта, удачно согласуется с особенностями мышления человека. В 1932 г. фон Нейман в своей знаменитой книге «Математические основы квантовой механики» [1] уже обратил внимание на возможность существования особой

квантовой логики, обобщающей логику классическую По его мнению, предметом физики являются не только некоторые конкретные физические величины, полученные при измерении, но и вся совокупность «непроявленных» результатов – тех, которые могли быть достигнуты, но в данном случае не были реализованы.

Современная мировоззренческая ситуация характеризуется тем, что на смену конфронтационной логике мышления, оказавшейся неспособной адекватно отобразить реальный мир и составить целостное представление о нем при помощи дихотомических парных категорий, приходит *новая познавательная стратегия многомерного методологического мышления*. Становление такого стиля методологии является прямым следствием достижений в области современных наук: квантово-релятивистской физики, синергетики, нейродинамики, квантовой информатики и т. д.

Жизненный цикл проекта начинается не с момента осознания того, что надо делать и как это осуществить в условиях динамично меняющейся конъюнктуры рынка, а с момента осознания потребности и *замысла нового проекта как реакции на появление новых профессиональных знаний*, изменения в содержании профессиональной деятельности специалистов (рис. 1). Затем следует этап формирования и уточнения содержания проекта, отбора и методической обработки материала, разработки технологических схем, покрывающих его наиболее значимые разделы. Существующие технологии практически не поддерживают функции, составляющие суть концептуального этапа проектирования, хотя именно эта стадия жизненного цикла проекта интеллектуального изделия является наиболее критичной с точки зрения оперативности реакции на запросы рынка и обеспечения качества проекта.

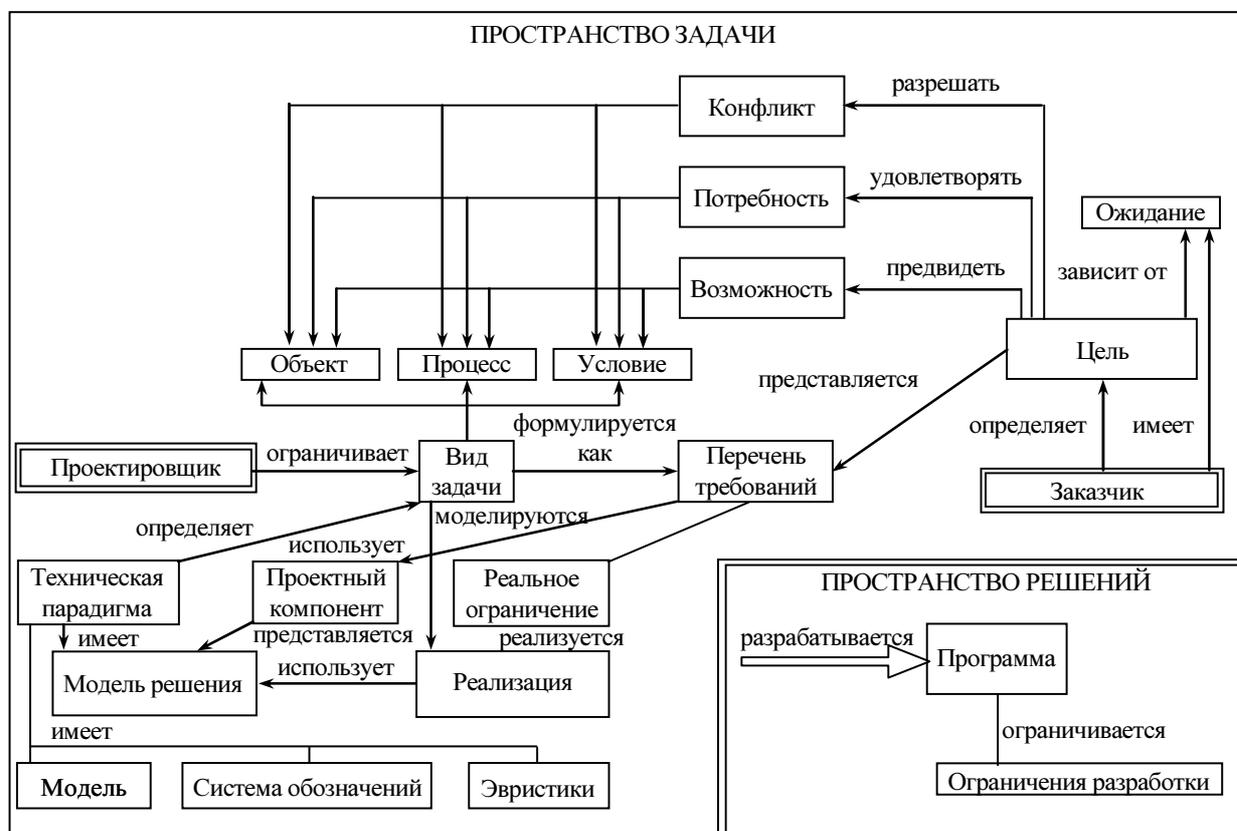


Рис. 1

В условиях огромных объемов информации, исключительно высоких темпов ее обновления и дефицита временного ресурса проектировщика именно формирование концептуальных структур проекта в быстроменяющихся областях знаний, отбор материала и его аналитическая обработка с учетом требований применения составляют важнейшую проблему высококачественного проектирования интеллектоемких изделий.

Обращение на концептуальном этапе проектирования к квантовой теории не случайно. Дело в том, что квантово-механическое описание является на сегодняшний день наиболее полным из всех других известных описаний физической реальности. Выводы, полученные на его основе, имеют фундаментальное значение и формируют концепцию комплементарного проектирования: проект изделия рассматривается в разных контекстах с различных позиций потребителя в условиях динамично складывающейся конъюнктуры, постоянного обновления фундаментального и профессионального знания.

3. В качестве руководящего предлагается признать тезис о том, что и проектным спецификациям, и сопроводительной документации имеет смысл придать форму нескольких преломлений под различными углами зрения. Другими словами, целесообразно ввести в рассмотрение несколько взаимодополняющих (комплементарных) проекций описываемого продукта. Число и состав проекций определяются спецификой предметной области. Понимание комплементарности (взаимной дополнителности по возможности большего числа характерных сторон создаваемого изделия) сопряжено с понятием стиля как порождающей модели, стиля как феномена, определяющего тип целостности, стиля как представителя целого в части, стиля как проявления стандарта, нормы и т. д.

Виртуализация – это особый стиль компьютерного моделирования, предполагающий метасистемные переходы из семиотического пространства вычислительной машины  $M$  к пространству метамашин  $M'$ . Благодаря такому переходу заменяется выполнение одного другим. Например, более легкого и привычного более подходящим и эффективным. Это зачастую требует заметных дополнительных ресурсов, это почти всегда сложно, но это – проверенный практикой способ хоть как-то гарантировать относительную надежность и сравнительную эффективность такой непомерно сложной системы, которую называют современным компьютером.

Собственно появление компьютера вызвало и актуализировало понятие виртуальной машины: компьютер можно превращать в совершенно разные объекты. Как и в случае с виртуальными частицами, эти объекты каждый раз заново порождаются активностью работающего человека и существуют только во время работы с ним. К настоящему времени стало ясно, что именно квантовые процессы составляют «базисные» представления. Они дают общий математический язык, на котором оказывается возможным говорить об аналогичных типах пространственно-временных явлений в самых разных по своей природе активных многокомпонентных средах.

Для объектно-ориентированного подхода в программировании понятие виртуального является одним из базовых. Г. Буч следующим образом подходит к введению этого понятия [2]: «Абстракция *виртуальной машины* – объект группирует операции, которые либо вместе используются более высоким уровнем управления, либо сами используют некоторый набор операций более низкого уровня». Следует дать некоторую интерпретацию этого высказывания. Операцию следует рассматривать как функцию (преобразование), которую можно применять к объектам данного класса и которая задает их поведение. Одна и та же операция может приме-

няться к объектам разных классов. Каждой операции соответствует *конкретный метод* – реализация этой операции для объектов данного класса. *Абстракция* и вводится для того, чтобы можно было на ее основе настроить иерархии классов на разные классы заданием вполне определенных *конкретизаций* для операций, причем они могут относиться совершенно к различным областям. Логически методы выполняют одну и ту же операцию согласно единой спецификации, хотя реализуются разными фрагментами кода, которые при выполнении могут привести к разным и даже абсолютно противоположным результатам. Таким образом, в этом контексте *виртуальное* следует рассматривать как **многообразие путей** возможного перехода от *абстрактного* к *конкретному*, причем на выбор такого пути влияет отнесение объекта (класса) к конкретной предметной области с наделением его явной **прагматикой**. Наделение класса в иерархии *виртуальностью* позволяет его объектам настроиться на *конкретное воплощение* операции, т. е. *актуализировать* свое поведение (рис. 2).

Объектная ориентация – методология, получившая всеобщее признание. Считается весьма продуктивным стиль программирования, где разработчик мыслит проектируемую программу прежде всего как совокупность взаимодействующих модулей-объектов. В самом деле, объекты нередко позволяют достаточно точно и наглядно отобразить многие соотношения, существующие в предметной области.

В то же время, поскольку объектная ориентация переживает сейчас период подъема, ей сопутствует зачастую неоправданно высокая степень предпочтения. Благодаря этому классам и объектам иногда явно или неявно приписываются некоторые несуществующие достоинства.

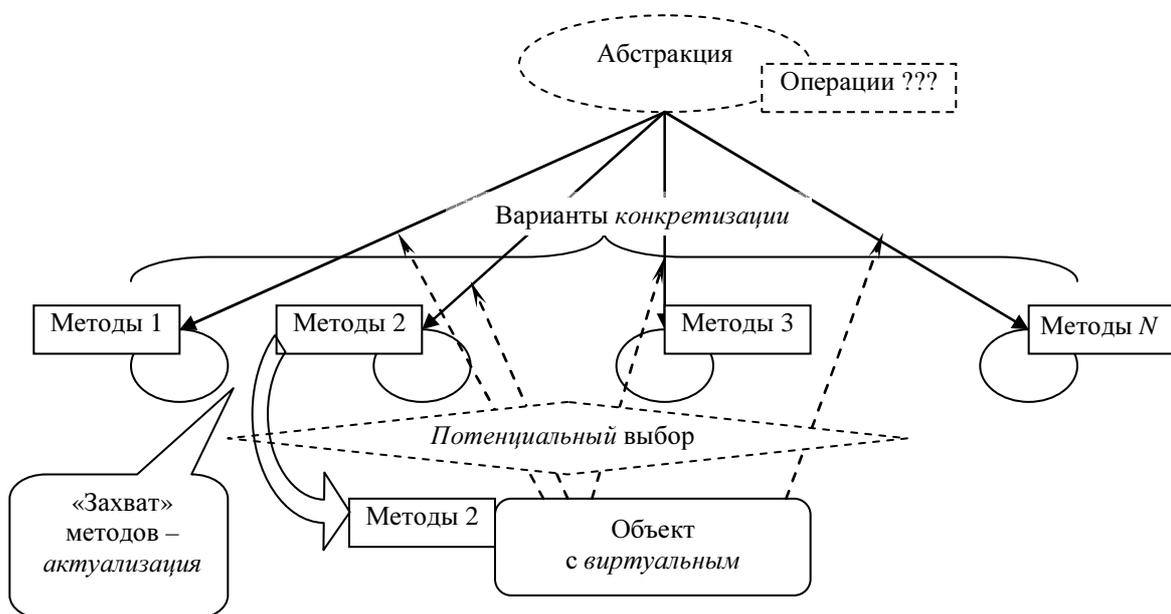


Рис. 2

4. VI-среда [3], [4] обеспечивает механизм моделирования таких процессов актуализации, что позволяет провести более качественное рассмотрение и анализ предложенных проектных путей, правильность выбора. При этом VI-среда осуществляет две разноплановые функции: 1) обеспечивает переход от абстрактной спецификации к конкретному воплощению одного из возможных способов решения задачи; 2) «одновременно» контролирует правильность этого перехода моделированием предполагаемых ситуационных путей развития вычислительных процессов.

## **Выводы:**

1. Эволюция компьютерного инжиниринга, мотивируемая, прежде всего, борьбой со сложностью, через серию смен программистских парадигм (алгоритмическая абстракция – абстракция данных – абстракция типов данных) привела к объектно-ориентированной парадигме. Возникающие в классе ASF архитектурных решений\* проблемы при концептуализации предметной области VI-среды мотивируют приложение парадигмы виртуальности в проектной деятельности.

2. Понятие процесса относится к любой структурированной целенаправленной деятельности. С этим понятием сопоставляется «двухслойная» онтологическая структура – у него выделяется актуальное и потенциальное содержание.

Нечто аналогичное наблюдается при обсуждении вопросов о соотношении процедурной и теоретико-модельной семантик в языках программирования, привлекаемых для представления вычислительных процессов, их планирования и выполнения с учетом ресурсного обеспечения.

3. Принципиально важным является предложение рассматривать парадигму предмета как идеальную, интеллектуальную среду, находясь в которой специалисты, общаясь между собой, обмениваются знаниями, оперируют с ними, создавая «образ» предмета, некую систему взглядов, моделей восприятия реальности, образ мышления и т. д. Процесс создания парадигмы и является главной задачей тех, кто добывает новое фундаментальное знание, которое впоследствии материализуется благодаря проектной деятельности по созданию принципиально новых образцов новой техники и технологий, нацеленных на социально-значимый результат.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. фон Нейман Дж. Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964.
2. Буч Г. Объектный анализ и программирование с примерами приложений на С++. 2-е изд. М.: Бином, СПб.: Невский диалект, 2000.
3. Калмычков В. А., Лозовой Л. Н. Волновые процессы в асинхронных VI-средах САПР // Изв. Белорусской инж. акад. 2003. № 1 (15)/1. С. 30–36.
4. Лозовой Л. Н. Проявление законов функциональной целостности и организованности при проектировании VI-средств аналитического приборостроения // Неразрушающий контроль и диагностика окружающей среды, материалов и промышленных изделий / СЗТУ. СПб., 2002. Вып. 4. С. 91–103.

*I. V. Gerasimov, V. A. Kalmychkov, L. N. Lozovoy, I. V. Matveeva*

### **PARADIGM VIRTUALINOSTI: PLACE AND ROLE IN DESIGN ACTIVITY**

*The applications of the paradigm of virtuality in design activity are discussed. The purpose - accent attention on those parties of processes to virtualization quantum information objects, which to the greatest degree influence architecture of environments of virtual instrument (VI-environments) CAD.*

### **Virtualization, complementative designing, quantum logic, VI-environment**

---

\* ASF (application specific framework) – специфический для отдельного применения интегрированный фрейм, обеспечивающий неполный, незавершенный шаблон для специфической предметной области или широкого приложения с возможностью дальнейшей настройки и адаптации.

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ВАРОЧНОЙ УСТАНОВКОЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

*Рассматриваются процедуры нечеткого логического вывода как основа для формирования модели управления установкой для варки целлюлозы.*

### Модель управления, логический вывод, нечеткая логика

Управление варочной печью КАМЮР – важным компонентом в технологическом процессе на лесохимических и деревообрабатывающих предприятиях – осуществлялось до последнего времени на основе производственного опыта и знаний технологов и операторов. Однако большое количество возмущающих факторов (разность температур разных частей установки, оседание сырья и т. д.) делает труднореализуемым построение адекватной модели с четко заданными параметрами. В связи с этим для управления установкой необходимо использовать знания высококвалифицированных операторов, в общем случае не полностью определенные.

В данной статье описывается разработанная с использованием нечеткой логики модель управления варочной установкой, позволяющая настраивать управляемую величину в зависимости от значений входных параметров с учетом возникающей при этом неопределенности.

Главной операцией нечеткой логики является процедура нечеткого вывода, с помощью которой из нечетких условий получают приближенные решения. Процедура нечеткого вывода основана на операции логического следования (импликации), используемой в традиционной математической логике.

Импликация позволяет формализовать знание эксперта «если  $A$ , то  $B$ », где  $A$  является предпосылкой, а  $B$  – заключением. Применительно к задачам нечеткого управления обычно  $X$  – базовое множество значений  $x$  управляемой величины,  $A$  – некоторое множество значений  $x$ ,  $Y$  – базовое множество значений  $y$  управляющего воздействия,  $B$  – некоторое множество значений  $y$ . При этом не обязательно наличие причинной связи между утверждениями, содержащимися в высказываниях  $A$  и  $B$ , а истинность импликации не зависит от смысла этих высказываний. В математической логике учитывается лишь истинность высказываний, а не их смысл. Другими словами, высказывание «если  $A$ , то  $B$ » считается ложной импликацией лишь в том случае, когда посылка  $A$  истинна, а заключение  $B$  ложно.

Особенность математической формализации словесного правила «если  $A$ , то  $B$ » применительно к нечетким множествам заключается в том, что множества  $A$  и  $B$ , фигурирующие в импликации, определены в большинстве случаев на разных базисных множествах. Например, в задачах управления  $X$  – базисное множество значений  $x$  управляемой величины,  $A$  может означать множество больших значений  $x$  управляемой величины,  $Y$  – базисное множество значений  $y$  управляющего воздействия,  $B$  – множество очень малых значений  $y$  управляющего воздействия.

Операцию импликации в алгебре нечетких множеств можно реализовывать по-разному, но в любом случае общий логический вывод осуществляется за следующие 4 этапа [1], [2]:

1. Введение нечеткости (фадзификация). Функции принадлежности, определенные на входных переменных, применяются к их фактическим значениям для определения степени истинности каждой предпосылки каждого правила.

2. Логический вывод. Вычисленное значение истинности для предпосылок каждого правила применяется к заключениям каждого правила. Это приводит к одному нечеткому подмножеству, которое будет назначено каждой переменной вывода для каждого правила. В качестве правил логического вывода обычно используется операция  $\min$ . В логическом выводе  $\min$  функция принадлежности вывода «отсекается» по высоте, соответствующей вычисленной степени истинности предпосылки правила (нечеткая логика «И»).

3. Композиция. Нечеткие подмножества, назначенные для каждой переменной вывода (во всех правилах), объединяются вместе, чтобы сформировать одно нечеткое подмножество для каждой переменной вывода (агрегирование). При подобном объединении обычно используется операция  $\max$ . При композиции  $\max$  комбинированный вывод нечеткого подмножества конструируется как поточечный максимум по всем нечетким подмножествам (нечеткая логика «ИЛИ»).

4. В заключение (дополнительно) – приведение к четкости (фадзификация), которое используется, когда полезно преобразовать нечеткий набор выводов в четкое число.

В зависимости от способа получения логических выводов из нечетких словесных правил на сегодняшний день наиболее популярны для промышленного использования алгоритмы нечеткого вывода Мамдани и Сугэно [1], [2].

Рассмотрим общий алгоритм нечеткого вывода на основе **концепции Мамдани**:

– предпосылки  $n$  правил  $A_{11}, A_{12}, \dots, A_{21}, A_{22}, \dots, A_{n1}, A_{n2}, \dots$ , представленные соответствующими функциями принадлежности  $\mu_{A_{11}}, \mu_{A_{12}}, \dots$  и связанные логическими операциями инверсии ( $\neg$ ), конъюнкции ( $\&$ ) и дизъюнкции ( $\vee$ );

– заключения  $n$  правил  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , представленные соответствующими функциями принадлежности  $\mu_{B_1}, \mu_{B_2}, \mu_{B_n}$ ;

– конкретные значения  $x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*$   $m$  входных переменных  $x_1, x_2, \dots, x_m$ .

В результате выполнения алгоритма необходимо получить результирующее значение  $y^*$  управляющего воздействия  $y$ .

1. Определяют значения истинности предпосылок  $n$  правил

$$\mu_{A_1}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*), \mu_{A_2}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*), \dots, \mu_{A_n}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*).$$

2. В соответствии с основным правилом логического вывода истинность заключения  $B$  не может превышать истинности посылки  $A$ , поэтому функцию принадлежности  $\mu_B(y)$  управляющего воздействия  $y$  необходимо ограничивать сверху на уровне  $\mu_A(x^*)$ :

$$\left. \begin{aligned} \mu_{B_1}^*(y) &= \min_{x \in A} \{ \mu_{A_1}(x_1^*, \dots, x_m^*), \mu_{B_1}(y) \}; \\ &\dots; \\ \mu_{B_n}^*(y) &= \min_{x \in A} \{ \mu_{A_n}(x_1^*, \dots, x_m^*), \mu_{B_n}(y) \}. \end{aligned} \right\}$$

3. Осуществляют агрегирование нескольких правил «если ..., то ...» путем максимизации функций принадлежности всех  $n$  объединяемых правил. Результирующая функция принадлежности управляющего воздействия

$$\mu_{B_p}(y) = \max_j \{\mu_{B_j^*}(y)\}, \quad j \in (1, n).$$

4. Для того чтобы по полученной результирующей функции принадлежности  $\mu_{B_p}(y)$  найти конкретное значение управляющего воздействия  $y^*$ , применяют процедуру дефаздификации. Существует множество методов дефаздификации, наиболее распространен метод центра тяжести, согласно которому

$$y^* = \frac{\int y \mu_{B_p}(y) dy}{\int \mu_{B_p}(y) dy}.$$

Функциональная структура системы нечеткого управления по алгоритму Мамдани приведена на рис. 1.

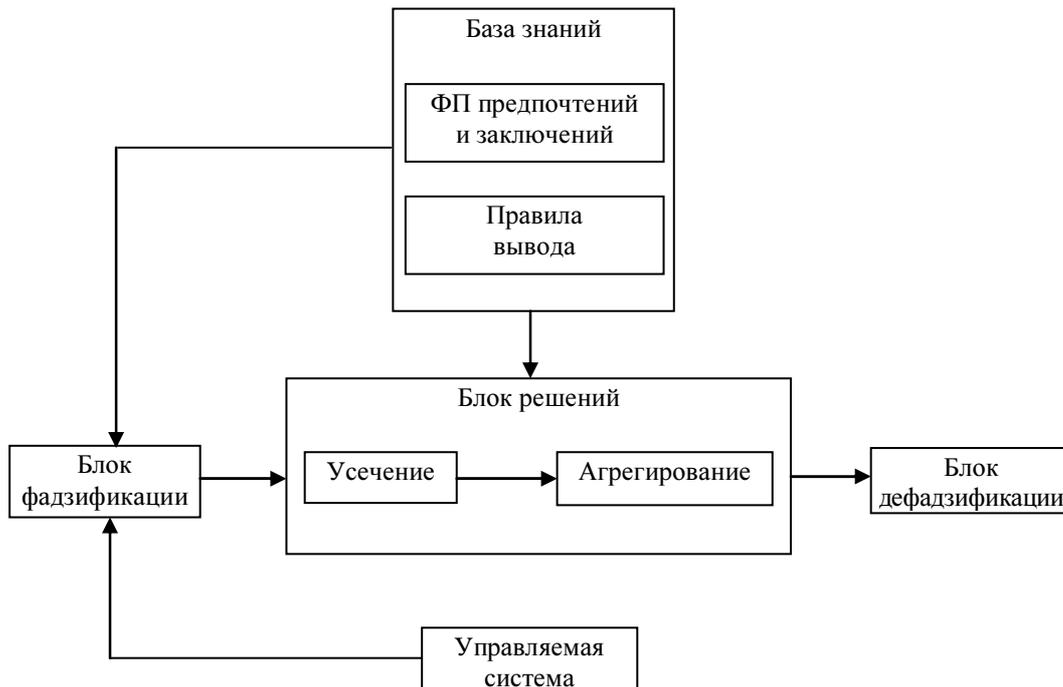


Рис. 1

Вся исходная эмпирическая информация о стратегии управления хранится в базе нечетких правил условного логического вывода «если ..., то ...», которые формулируются на основе тщательного изучения управляемой системы и задачи управления путем опроса специалистов-технологов.

Блок фаздификации выдает значения функций принадлежности посылок  $\mu_{A_1}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$ ,  $\mu_{A_2}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$ , ...,  $\mu_{A_n}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$ , соответствующие конкретным значениям  $x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*$  входных переменных.

Блок решений использует нечеткие условные правила, заложенные в базу знаний, для выработки нестрогих логических выводов  $\mu_{B_1^*}(y)$ , ...,  $\mu_{B_n^*}(y)$ . В этом же блоке частные выводы объединяются в общий вывод, которому соответствует результирующая функция принадлежности  $\mu_{B_p}(y)$ .

Блок дефадзификации преобразует нечеткую выходную величину на входе блока решений в четкую величину  $y^*$ , которая используется для управления объектом.

В алгоритме *Сугэно* и его соавторов Такаги и Канга заключение каждого правила формулируется не в лингвистических переменных, а записывается в виде алгебраической функции входных переменных. Тем самым исключается необходимость обычной дефадзификации, а четкое значение результирующего управляющего воздействия, соответствующее фиксированным значениям входных переменных, вычисляется как средневзвешенная величина.

Рассмотрим общий алгоритм нечеткого вывода на основе концепции Сугэно.

Исходными данными для алгоритма являются:

– предпосылки  $n$  правил  $A_{11}, A_{12}, \dots; A_{21}, A_{22}, \dots; \dots; A_{n1}, A_{n2}, \dots$ , представленные соответствующими функциями принадлежности  $\mu_{A_{11}}, \mu_{A_{12}}, \dots$  и связанные логическими операциями инверсии ( $\neg$ ), конъюнкции ( $\&$ ) и дизъюнкции ( $\vee$ );

– заключения  $n$  правил  $y_1, y_2, \dots, y_n$ :

$$y_j = c_{0j} + c_{1j}x_1 + \dots + c_{mj}x_m, \quad j \in (1, n),$$

где  $c_{0j}, c_{1j}, \dots, c_{mj}$  – постоянные коэффициенты, устанавливаемые экспертами;

– конкретные значения  $x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*$   $m$  входных переменных  $x_1, x_2, \dots, x_m$ .

В результате выполнения алгоритма необходимо получить результирующее значение  $y^*$  управляющего воздействия  $y$ .

1. Первый этап – как в алгоритме Мамдани.

2. Определяются индивидуальные выходы правил  $y_j^* = c_{0j} + c_{1j}x_1^* + \dots + c_{mj}x_m^*$ ,  $j \in (1, n)$ .

3. Определяется четкое значение переменной вывода

$$y^* = \frac{\sum_{j=1}^n y_j^* \mu_{A_j^*}}{\sum_{j=1}^n \mu_{A_j^*}}, \quad \text{где } \mu_{A_j^*} \text{ – значение функции принадлежности всей посылки } j\text{-го}$$

правила, соответствующее значениям  $x_i^*$ .

Приведенное представление относится к алгоритму Сугэно 1-го порядка. Часто применяют алгоритм Сугэно 0-го порядка, согласно которому управляющее воздействие для  $j$ -го правила вычисляется по формуле  $y_j = c_{0j} + c_{1j} + \dots + c_{mj}$ , где  $c_{0j}, c_{1j}, \dots, c_{mj}$  – четкие значения управляющего воздействия, заданные в виде синглтонов при формулировке исходных лингвистических правил.

Функциональная структура системы нечеткого управления по алгоритму Сугэно приведена на рис. 2.

Несмотря на большую простоту алгоритма Сугэно и отсутствие необходимости проведения дефадзификации, данный алгоритм обладает одним серьезным недостатком – он требует наличия четкой статистической связи между входными величинами и управляющими воздей-

ствиями для каждого правила. Для данного объекта управления – варочной печи КАМЮР – получение такой зависимости в связи с условиями эксплуатации печи не представляется возможным, поэтому в дальнейшем будем использовать концепцию Мамдани.

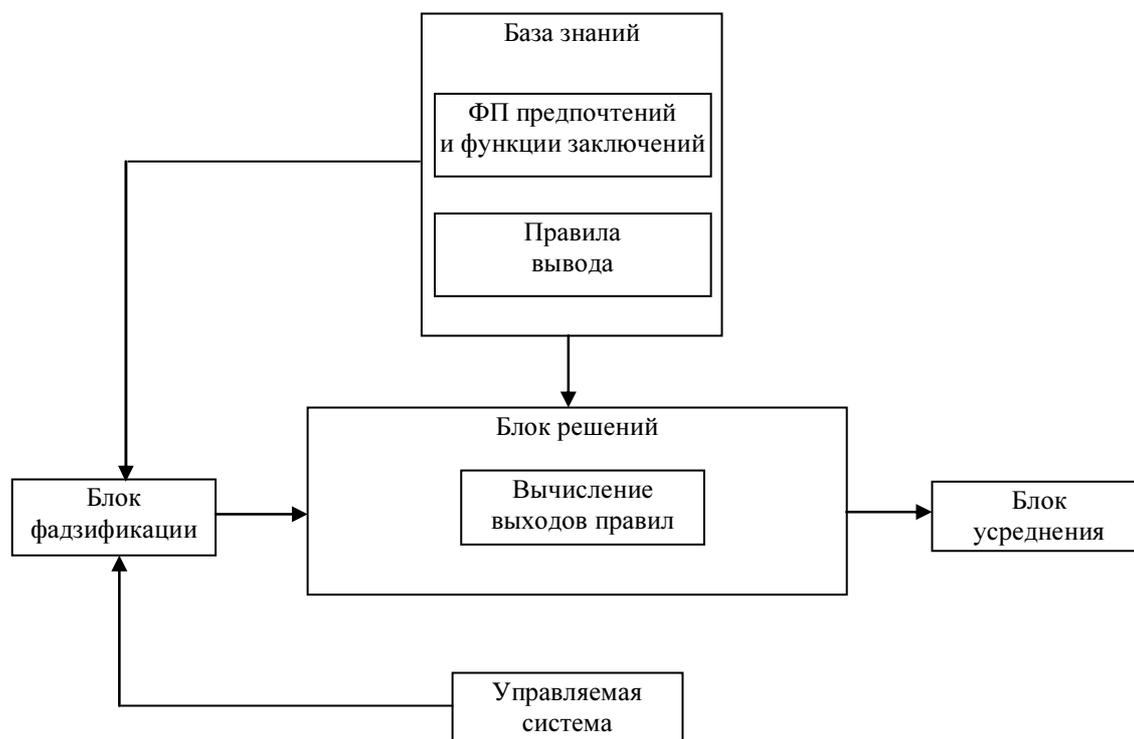


Рис. 2

Функционирование варочной установки зависит от очень большого количества факторов, главными из которых являются масса закладываемого сырья, а также температура и давление, для измерения которых служат соответствующие датчики. Именно от этих трех факторов в основном зависит качество получаемого продукта.

Нагревом и давлением в печи очень трудно управлять из-за большого количества шумов, поэтому в качестве управляющего воздействия выберем массу закладываемого сырья  $M$ .

В соответствии с постановкой очевидна стратегия управления: необходимо изменять  $M$  на некоторую величину  $\Delta M$  таким образом, чтобы удовлетворять определенным соотношениям между температурой  $t$ , давлением  $p$  и  $M$ , разработанным специалистами-технологами. Роль нечеткого регулятора в разработанной управляющей системе выполняет регистрирующий прибор типа «Технограф-160». Исполнительный механизм под воздействием выработанного им управляющего сигнала обеспечивает соответствующее увеличение или уменьшение массы закладываемого сырья (рис. 3).

Ниже приводятся экспертные представления лингвистических переменных  $t$ ,  $p$ ,  $M$  и  $\Delta M$  с помощью нескольких термов. Их функции принадлежности приведены на рис. 4–7.

$t = \{\text{«очень низкая» } (t1), \text{ «низкая» } (t2), \text{ «средняя» } (t3), \text{ «высокая» } (t4), \text{ «очень высокая» } (t5)\};$

$p = \{\text{«достаточно малое» } (p1), \text{ «среднее» } (p2), \text{ «достаточно высокое» } (p3)\};$

$M = \{\text{«достаточно малая» } (M1), \text{ «средняя» } (M2), \text{ «достаточно большая» } (M3)\};$

$\Delta M = \{\text{«уменьшить» } (\Delta M1), \text{ «не менять» } (\Delta M2), \text{ «увеличить» } (\Delta M3)\}.$

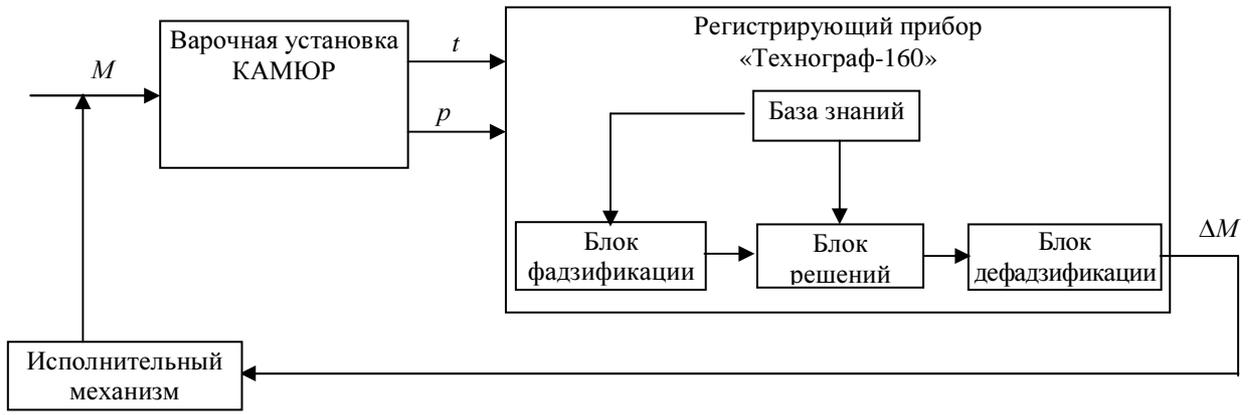


Рис. 3

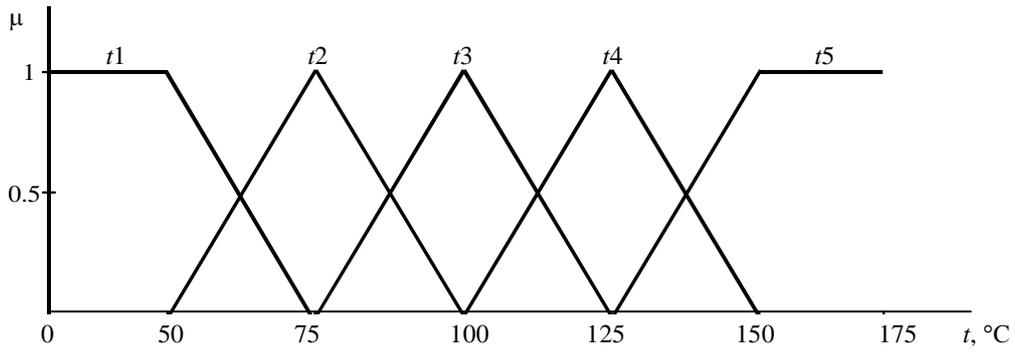


Рис. 4

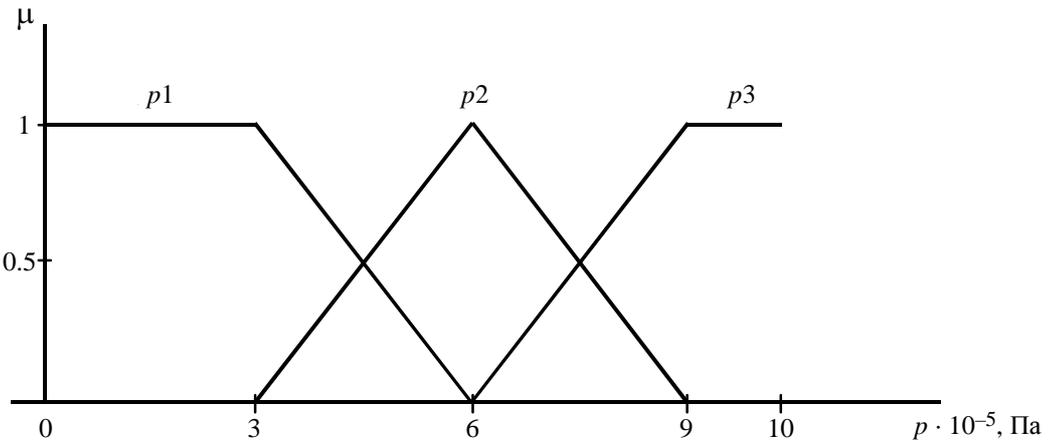


Рис. 5

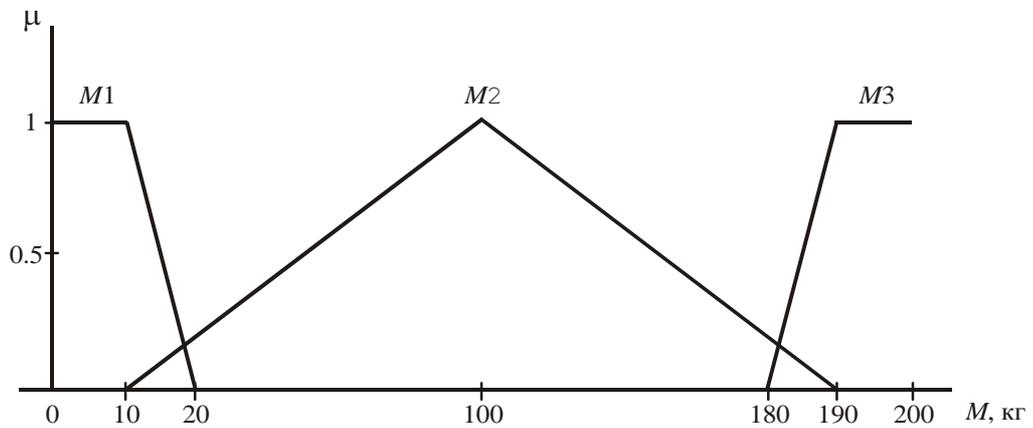


Рис. 6

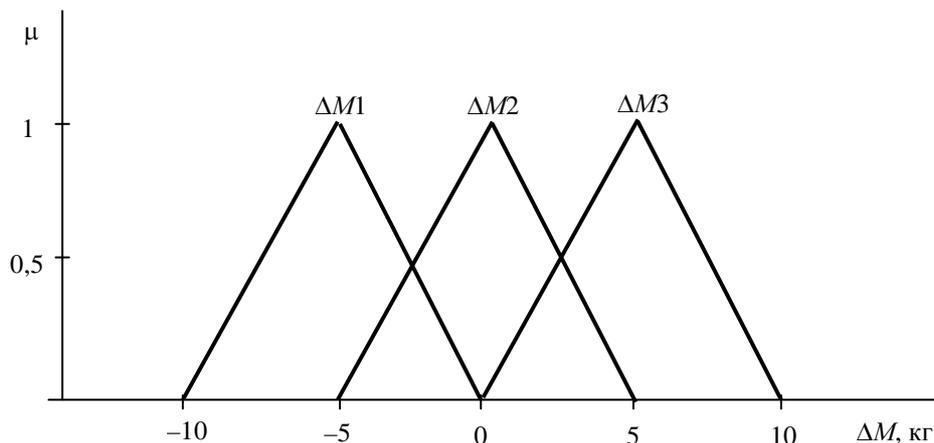


Рис. 7

Так как представленная экспертами база правил в данном случае целиком состоит из правил вида «если  $M = \dots$  и  $p = \dots$ , и  $t = \dots$ , то  $\Delta M = \dots$ » (например, «если  $M = \text{«средний»}$  и  $p = \text{«достаточно малое»}$ , и  $t = \text{«низкая»}$ , то  $\Delta M = \text{«уменьшить»}$ »), то ее удобно представить в табличном виде.

$p$	$M1$					$M2$					$M3$				
	$t1$	$t2$	$t3$	$t4$	$t5$	$t1$	$t2$	$t3$	$t4$	$t5$	$t1$	$t2$	$t3$	$t4$	$t5$
$p1$	$\Delta M2$	$\Delta M1$	$\Delta M1$	$\Delta M1$	$\Delta M2$	$\Delta M2$	$\Delta M1$	$\Delta M1$	$\Delta M1$	$\Delta M2$	$\Delta M2$				
$p2$	$\Delta M2$	$\Delta M2$	$\Delta M2$	$\Delta M2$	$\Delta M3$	$\Delta M1$	$\Delta M2$	$\Delta M2$	$\Delta M2$	$\Delta M3$	$\Delta M1$	$\Delta M2$	$\Delta M2$	$\Delta M2$	$\Delta M2$
$p3$	$\Delta M2$	$\Delta M2$	$\Delta M3$	$\Delta M3$	$\Delta M3$	$\Delta M2$	$\Delta M2$	$\Delta M3$	$\Delta M3$	$\Delta M3$	$\Delta M2$				

После того как для всех входных и выходных переменных заданы лингвистические термы, соответствующие некоторым диапазонам четких значений, и сформирована таблица правил на основе условных высказываний, математическую модель системы управления можно считать построенной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; Под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. М.: Мир, 1993.
2. Круглов В. В., Дли М. И. Интеллектуальные информационные системы. М.: Физматгиз, 2002.

*O. I. Shehovtsov, B. M. Shifrin*

#### *DEVELOPMENT OF ADJUSTMENT FUZZY MODEL FOR PULP MILL*

*The general objective of the paper is to improve recent models for the decision maker preferences which do not apply the exact and precise decision algorithms.*

**Model of control, logical resolution, fuzzy logic**



УДК 62-83-523 (62.50)

*В. В. Путов, В. Н. Шелудько, Ч. А. Зунг,  
В. Я. Короп, В. К. Фьонг*

## **ПРЯМАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ С МАЖОРИРУЮЩИМИ ФУНКЦИЯМИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХМАССОВЫМИ НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С ДВУХРЕЗОНАНСНЫМИ УПРУГИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ**

*Строится прямая адаптивная система с параметрической настройкой и мажорирующими функциями для управления трехмассовыми нелинейными нестационарными упругими электромеханическими объектами. Оценивается эффективность подавления двухрезонансных упругих колебаний и точность управления в условиях изменения параметров и наличия нелинейностей в упругих объектах.*

**Прямая адаптивная система, параметрическая настройка, мажорирующие функции, трехмассовый упругий электромеханический объект**

В настоящее время задачи управления многостепенными взаимосвязанными нелинейными электромеханическими объектами с протяженной геометрией и упругими деформациями, обеспечивающие повышение эффективности функционирования мехатронных промышленных комплексов и подвижных объектов, занимают одно из передовых мест по числу применений для высокотехнологичных и прецизионных установок в промышленности. К таким мехатронным комплексам как к объектам управления относятся конструкции высокоточных металлорежущих станков, экстремальных роботов-манипуляторов, быстроходных наземных и морских подвижных объектов, высокоманевренных летательных аппаратов, испытательных стендов, мобильных установок аэродромного обслуживания и т. д. При этом в условиях, когда возможности современного конструирования и применения новейших материалов с целью достижения высокой точности и высокой производительности сложных электромеханических объектов исчерпываются, дальнейшее повышение их эффективности может быть достигнуто только методами и средствами более сложного управления, и в последнее время на этом пути все чаще применяют аналитические и интеллектуальные адаптивные системы управления.

**Объект управления.** Рассмотрим в качестве исходной следящую систему с трехмассовым нелинейным упругим электромеханическим объектом, замкнутой обратными связями по скорости первого диска и положению (углу поворота третьего диска – нагрузки) [1]. Структурная схема исходной двухконтурной электромеханической следящей системы с упругими деформациями представлена на рис. 1.

Обозначения на рис. 1: ДВ – исполнительный двигатель постоянного тока, УМ – усилитель мощности, РП – регулятор положения, РС – регулятор скорости, ДС – датчик скорости, ДП – датчик положения.

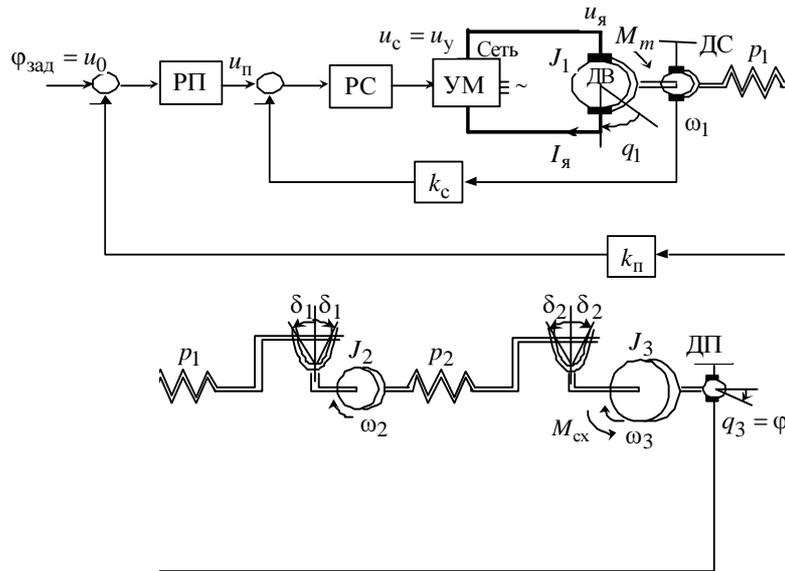


Рис. 1

В статье решается задача подавления (средствами управления) двухрезонансных колебаний в следящей системе с трехмассовым нелинейным упругим объектом при одновременном обеспечении быстродействия, сравнимого с быстродействием системы с жестким объектом. При условии пренебрежения электромагнитной постоянной времени исполнительного электропривода математическое описание данной задачи представляет собой систему дифференциальных уравнений шестого порядка вида:

$$\begin{aligned}
 \dot{\phi} &= \omega_3; \\
 \dot{\omega}_3 &= \frac{1}{J_3} f_{y2} - \frac{1}{J_3} M_{сх}; \\
 \dot{m}_{y2} &= -p_2 \omega_3 + p_2 \omega_2; \\
 \dot{\omega}_2 &= \frac{1}{J_2} f_{y1} - \frac{1}{J_2} f_{y2}; \\
 \dot{m}_{y1} &= -p_1 \omega_2 + p_1 \omega_1; \\
 \dot{\omega}_1 &= -\frac{k_m k_y k_{п} \beta_c \beta_{п}}{J_1 R_{я}} \phi - \frac{1}{J_1} f_{y1} - \frac{k_m (k_e + k_c k_y \beta_c)}{J_1 R_{я}} \omega_1 + \frac{k_m k_y \beta_c \beta_{п}}{J_1 R_{я}} u_{\Sigma},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $\phi$  – положение (угол поворота нагрузки);  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  – угловые скорости первого, второго и третьего дисков;  $J_1, J_2, J_3$  – моменты инерции первого, второго и третьего дисков;

$m_{y1}, m_{y2}$  – моменты упругости при отсутствии зазоров;  $f_{y1}, f_{y2}$  – моменты упругости, описываемые при учете зазоров  $2\delta_1$  и  $2\delta_2$  в упругих связях,

$$f_{y1} = \begin{cases} m_{y1} - p_1\delta_1, & m_{y1} \geq p_1\delta_1, \\ 0, & |m_{y1}| < p_1\delta_1, \\ m_{y1} + p_1\delta_1, & m_{y1} \leq -p_1\delta_1; \end{cases} \quad (2)$$

$$f_{y2} = \begin{cases} m_{y2} - p_2\delta_2, & m_{y2} \geq p_2\delta_2, \\ 0, & |m_{y2}| < p_2\delta_2, \\ m_{y2} + p_2\delta_2, & m_{y2} \leq -p_2\delta_2; \end{cases} \quad (3)$$

$M_{сх}$  – момент сухого трения,

$$M_{сх} = M_{сх0} \text{sign} \omega_3, \quad M_{сх0} = (0, 1 \dots 0, 3) M_H; \quad (4)$$

$M_H$  – номинальный вращающий момент приводного двигателя;  $p_1, p_2$  – жесткости;  $R_я$  – активное сопротивление якорной цепи;  $k_e, k_m$  – постоянные коэффициенты, определяемые конструктивными данными электрической машины;  $k_y$  – коэффициент передачи усилителя мощности;  $k_c$  – коэффициент передачи датчика обратной связи по первой скорости;  $\beta_c$  – коэффициент передачи регулятора скорости;  $k_{\Pi}$  – коэффициент передачи датчика обратной связи по положению;  $\beta_{\Pi}$  – коэффициент передачи регулятора положения;  $u_{\Sigma}$  – суммарный управляющий сигнал,  $u_{\Sigma} = u_0 + u_a$ ;  $u_0$  – задающее воздействие;  $u_a$  – адаптивное управление, подлежащее определению.

В общем случае моменты инерции и коэффициенты упругости являются неопределенными, поэтому рассмотрим их приближение с некоторыми усредненными значениями:  $J_1 = J_{01}, J_2 = J_{02}, J_3 = J_{03}; p_1 = p_{01}; p_2 = p_{02}$ . Положим  $a_1 = 1/J_{03}; a_2 = p_{02}; a_3 = 1/J_{02}; a_4 = p_{01}; a_5 = -k_m k_y k_{\Pi} \beta_c \beta_{\Pi} / (J_{01} R_я); a_7 = -k_m (k_e + k_c k_y \beta_c) / (J_{01} R_я); a_6 = -1/J_{01}; b = k_m k_y \beta_c \beta_{\Pi} / (J_{01} R_я)$ . Тогда линейный аналог системы (1) с усредненными параметрами имеет следующий векторно-матричный вид:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b}u_{\Sigma}; \quad (5)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -a_2 & 0 & a_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -a_3 & 0 & a_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -a_4 & 0 & a_4 \\ a_5 & 0 & 0 & 0 & a_6 & a_7 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ b \end{bmatrix}; \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \varphi \\ \omega_3 \\ m_{y2} \\ \omega_2 \\ m_{y1} \\ \omega_1 \end{bmatrix}.$$

**Прямая адаптивная система управления трехмассовым упругим электромеханическим объектом.** Для подавления упругих колебаний и обеспечения заданного быстродействия переходных процессов электромеханического объекта в условиях неопределенности его параметров и наличия нелинейностей в виде зазоров в упругих связях и сухого трения вводится прямое адаптивное управление с параметрической настройкой и мажорирующими функциями.

Для построения адаптивной системы с параметрической настройкой выберем наиболее подходящую здесь, как очевидно из описания нелинейностей в виде зазоров и сухого трения, упрощенную адаптивную структуру с алгоритмом, включающим мажорирующие функции только старших степеней роста, одинаковых по каждой из переменных состояния вида [2]:

$$\mathbf{u}_a(t) = \mathbf{K}_A(t) \mathbf{diag} \left\{ f_p(x_r) \right\}_1^n \mathbf{x} + \mathbf{K}_B(t) \mathbf{u}_0(t), \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{\mathbf{K}}_A(t) &= -\Gamma_A \mathbf{B}_M^T \mathbf{P} \mathbf{e} \mathbf{x}^T \mathbf{diag} \left\{ f_p(x_r) \right\}_1^n - \Lambda_A \mathbf{K}_A(t); \quad r = \overline{1, n}, \\ \dot{\mathbf{K}}(t) &= -\Gamma_B \mathbf{B}_M^T \mathbf{P} \mathbf{e} \mathbf{u}_0^T - \Lambda_B \mathbf{K}_B(t), \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где  $\mathbf{K}_A(t)$  –  $m \times n$ -мерная матрица,  $\mathbf{K}_B(t)$  –  $m \times m$ -мерная матрица настраиваемых параметров нелинейного адаптивного закона (6);  $\mathbf{diag} \left\{ f_p(x_r) \right\}_1^n$  – диагональная функциональная матрица порядка  $n$ , составленная из мажорирующих функций старших степеней роста  $p$ , одинаковых по каждой из переменных состояния  $x_r$ ;  $\mathbf{e} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_M$  – вектор ошибок,  $\mathbf{x}_M = [x_{M1} \dots x_{Mn}]^T$  – вектор состояния эталонной модели вида

$$\dot{\mathbf{x}}_M = \mathbf{A}_M \mathbf{x}_M + \mathbf{B}_M \mathbf{u}_0(t), \quad (8)$$

$\mathbf{A}_M$ ,  $\mathbf{B}_M$  –  $n \times n$ - и  $n \times m$ -мерные постоянные матрицы,  $\mathbf{A}_M$  – гурвицева;  $\Gamma_A$ ,  $\Lambda_A$ ,  $\Gamma_B$ ,  $\Lambda_B$  – симметричные положительно определенные  $m \times m$ -мерные произвольные матрицы постоянных коэффициентов усиления алгоритмов;  $\mathbf{P}$  – симметричная ( $\mathbf{P} = \mathbf{P}^T$ ) положительно определенная ( $\mathbf{P} > 0$ ) матрица, удовлетворяющая уравнению Ляпунова вида

$$\mathbf{A}_M^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A}_M = -\mathbf{G},$$

$\mathbf{G}$  – любая симметричная положительно определенная матрица.

Для решения задачи подавления упругих колебаний и обеспечения заданного быстрого действия переходных процессов, в качестве эталонной модели (8), участвующей в адаптивном алгоритме (6), (7), выбирается замкнутая система с модальным управлением. Модальный регулятор для линеаризованного объекта (5) имеет вид обратной связи по состоянию:

$$u_{\text{л}} = \mathbf{k} \mathbf{x}; \quad \mathbf{k} = [k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6],$$

где  $\mathbf{k}$  – вектор коэффициентов обратных связей, рассчитываемых из условия обеспечения заданного желаемого распределения корней характеристического уравнения замкнутой системы. Тогда эталонная модель имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}_M &= \mathbf{A}_M \mathbf{x}_M + \mathbf{b}_M u_0; \\ \mathbf{A}_M = \mathbf{A} + \mathbf{b} \mathbf{k} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -a_2 & 0 & a_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -a_3 & 0 & a_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -a_4 & 0 & a_4 \\ a_5 + bk_1 & bk_2 & bk_3 & bk_4 & a_6 + bk_5 & a_7 + bk_6 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{b}_M = \mathbf{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ b \end{bmatrix}, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где  $\mathbf{x}_M = [\varphi_M, \omega_{3M}, m_{y2M}, \omega_{2M}, m_{y1M}, \omega_{1M}]^T$  – вектор состояния эталонной модели.

Рассматриваемая структура (6), (7) может быть реализована путем непосредственного измерения всех переменных состояния объекта. Если измерению доступны только не-

которые переменные (в большинстве случаев это первая скорость  $\omega_1$  и положение нагрузки  $\varphi$ ), для управления используются асимптотические оценки переменных, вырабатываемые, например, наблюдателем состояния. Наблюдатель по измерению  $\omega_1$  линеаризованного объекта (5) имеет вид:

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{lc}(\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}) + \mathbf{bu}_\Sigma, \quad (10)$$

где  $\hat{\mathbf{x}}$  – вектор оценок переменных состояния;  $\mathbf{c} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ k_c]$  – вектор измерения;  $\mathbf{l} = [l_1 \ l_2 \ l_3 \ l_4 \ l_5 \ l_6]^T$  – вектор коэффициентов обратных связей наблюдателя. Эти коэффициенты должны обеспечить заданное желаемое распределение корней характеристического уравнения наблюдателя, замкнутого по ошибке наблюдения.

Для построения такой адаптивной структуры для класса рассматриваемых нелинейных упругих объектов необходимо указать конкретный вид мажорирующих функций роста, учитывающих существенные нелинейности упругого объекта, в данном случае зазоры и сухое трение. Здесь в качестве мажорирующих функций целесообразно выбрать степенные (любой нечетной степени) функции переменных состояния трехмассового объекта

$$f_p(x_r) = x_r^p, \quad p = 0, 1, 3, 5, \dots; \quad r = \overline{1, n}.$$

Отметим, что по (2) и (3) аргументами функций, описывающих зазоры, являются упругие силы (моменты)  $m_{y1}$  и  $m_{y2}$  соответственно, а по (4) аргументом функции, описывающей сухое трение, является угловая скорость нагрузки  $\omega_3$ , и поэтому адаптивная система с мажорирующими функциями вида

$$\begin{aligned} f_p(\varphi) = 1; \quad f_p(\omega_3) = \omega_3^p; \quad f_p(m_{y2}) = \omega_{y2}^p; \quad f_p(\omega_2) = 1; \\ f_p(m_{y1}) = \omega_{y1}^p; \quad f_p(\omega_1) = 1; \quad p = 1, 3, 5, \dots \end{aligned} \quad (11)$$

непосредственно ориентирована на подавление влияния зазоров и сухого трения.

Принимая во внимание то, что порядок рассматриваемого объекта равен 6 и задающее воздействие  $u_0$  является скалярной величиной, перепишем упрощенную прямую адаптивную структуру (6), (7) с параметрической настройкой и мажорирующими функциями, с наблюдателем состояния (10) для управления трехмассовым нелинейным упругим объектом следующим образом:

$$u_a(t) = \mathbf{k}_A(t) \mathbf{diag} \left\{ f_p(\hat{x}_r) \right\}_1^6 \hat{\mathbf{x}} + k_b(t) u_0(t), \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{\mathbf{k}}_A(t) &= -\gamma_a \delta(\hat{\mathbf{e}}) \hat{\mathbf{x}}^T \mathbf{diag} \left\{ f_p(\hat{x}_r) \right\}_1^6 - \lambda_a \mathbf{k}_A(t); \quad r = \overline{1, 6}, \\ \dot{k}_b(t) &= -\gamma_b \delta(\hat{\mathbf{e}}) u_0(t) - \lambda_b k_b(t), \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где  $\mathbf{k}_A(t)$  – вектор-строка настраиваемых коэффициентов, а  $k_b(t)$  – настраиваемый входной коэффициент адаптивного закона (12);  $\gamma_a, \lambda_a, \gamma_b, \lambda_b$  – положительные коэффициенты усиления настроек;  $\hat{\mathbf{e}} = \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}_M$  – вектор ошибок – разностей между переменными состояния наблюдателя (10) и эталонной модели (9);  $\delta(\hat{\mathbf{e}}) = \mathbf{b}_M^T \mathbf{P} \hat{\mathbf{e}}$ . С учетом выбора мажорирующих функций вида (11) имеем:

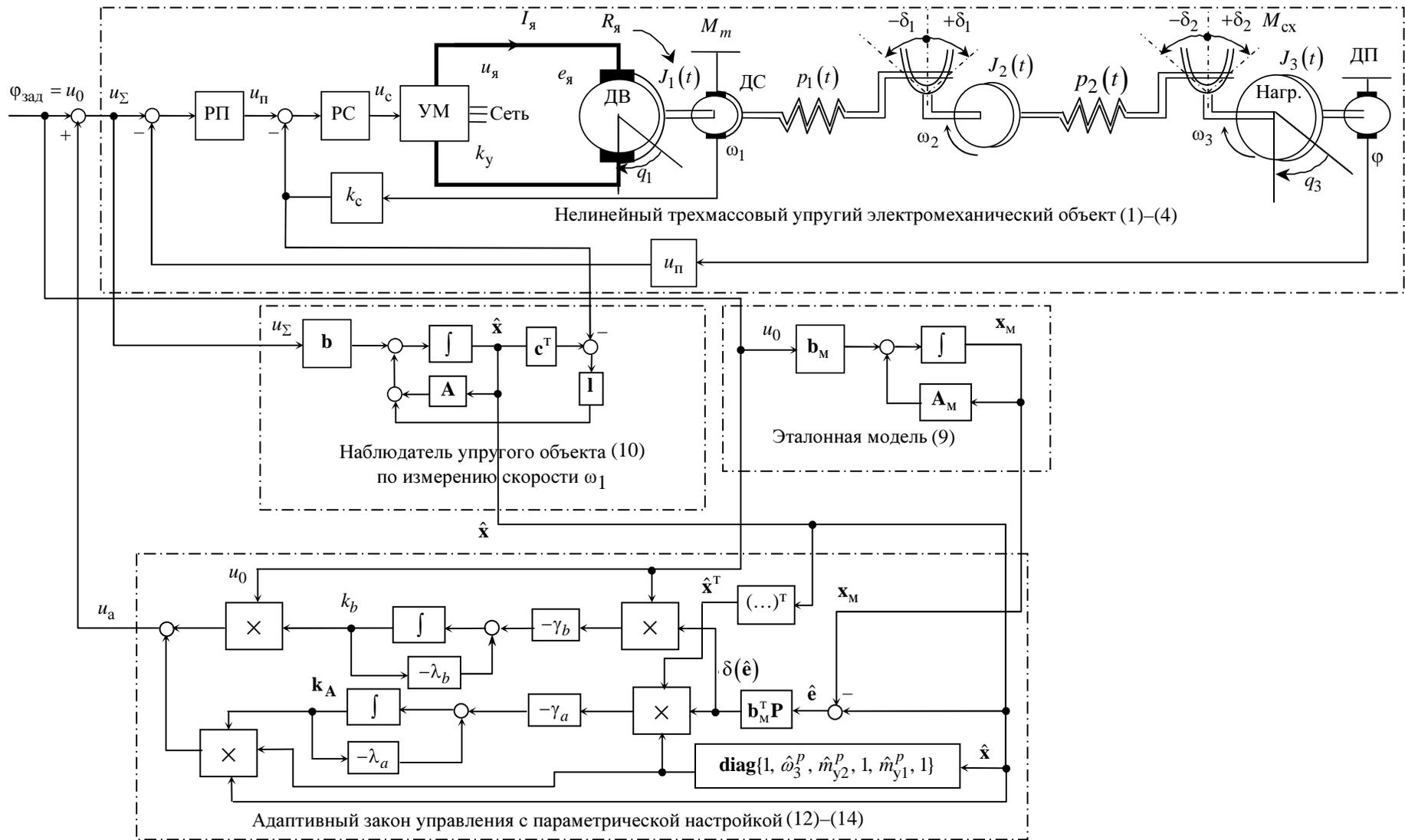


Рис. 2

$$\text{diag} \{f_p(\hat{x}_r)\}_1^6 = \text{diag} \{1, \hat{\omega}_3^p, \hat{m}_{y2}^p, 1, \hat{m}_{y1}^p, 1\}. \quad (14)$$

На основе структур наблюдателя состояния (10) по измерению первой скорости, эталонной модели (9) и адаптивного закона (12)–(14) построена обобщенная векторно-матричная схема прямой адаптивной системы с параметрической настройкой и мажорирующими функциями для управления трехмассовым нелинейным нестационарным упругим электромеханическим объектом, которая представлена на рис. 2.

**Результаты моделирования и исследований.** Чтобы подтвердить эффективность работы построенной адаптивной системы в управлении положением трехмассового упругого электромеханического объекта, рассмотрим результаты исследований по программе моделирования, построенной в Matlab – Simulink. Моделирование осуществляется при следующих параметрах упругого объекта:  $J_{01} = 0,05 \text{ кгм}^2$ ;  $J_{02} = 0,03 \text{ кгм}^2$ ;  $J_{03} = 0,1 \text{ кгм}^2$ ;  $p_{01} = 30$ ;  $p_{02} = 25$ ;  $R_{я} = 2 \text{ Ом}$ ;  $k_e = 1 \text{ Вс}$ ;  $k_m = 1 \text{ Вс}$ ;  $k_y = 22$ ;  $k_c = 0,0095 \text{ Вс/рад}$ ;  $k_{\Pi} = 0,0095 \text{ В/рад}$ ;  $\beta_c = 86,32$ ;  $\beta_{\Pi} = 25$  и при ступенчатом задающем воздействии  $\varphi_{\text{зад}} = u_0 = 1k_{\Pi} = 0,0095 \text{ В}$ .

На рис. 3, а показан переходный процесс угловой скорости вращения приводного двигателя, а на рис. 3, б – переходный процесс угла поворота нагрузки при работе рассматриваемой следящей системы с предположением, что упругие связи в рассматриваемом объекте заменены жесткими. Мы будем ориентироваться на быстроедействие «жесткой» системы при исследовании адаптивной системы управления.

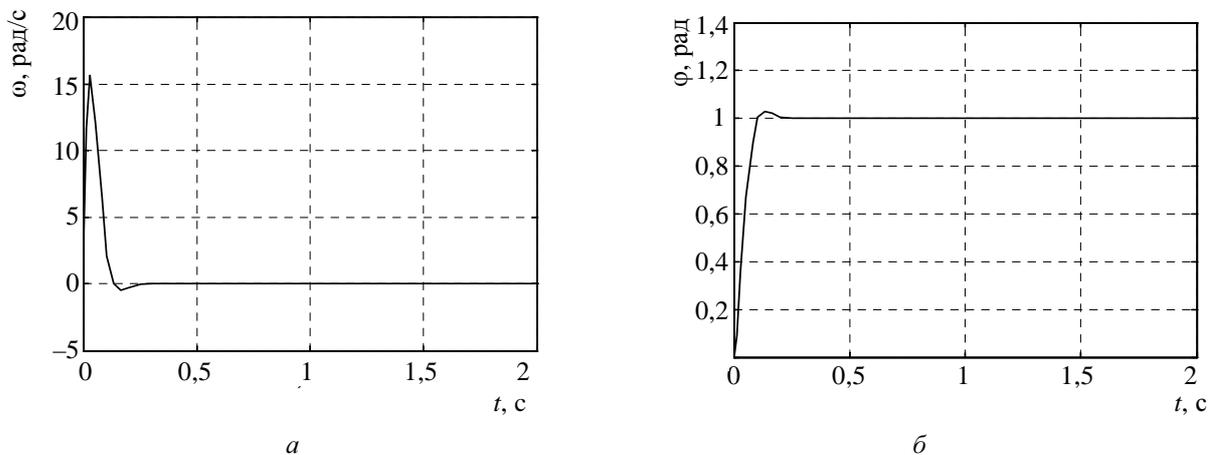


Рис. 3

Как показали исследования моделированием, использование в следящей системе с упругим объектом настроек контурных П-регуляторов  $\beta_{\Pi}$ ,  $\beta_c$ , рассчитанных на достижение максимально возможного быстрогодействия в рамках жесткой электромеханической следящей системы, приводит к возбуждению быстрорастущих упругих колебаний, поэтому, чтобы наблюдать за затухающими упругими колебаниями в рассматриваемом объекте, необходимо уменьшить настройку П-регулятора положения  $\beta_{\Pi}$  в 20 раз ( $\beta_{\Pi} = 1,25$ ), что приводит к многократному снижению быстрогодействия следящей системы. На рис. 4, а показан переходный процесс угловой скорости вращения второго диска, а на рис. 4, б – переходный процесс угла поворота нагрузки при работе рассматриваемой следящей системы с трехмассовым упругим объектом без адаптивного управления. Как видно из полученных

графиков (особенно из графика на рис. 4, а), в следящей системе возникают двухрезонансные упругие колебания с парциальными собственными частотами, соответствующими закрепленному первому диску и равными [1]:

$$f_{1\_23} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a - \sqrt{a^2 - 4c}}{2}} = 1,80 \text{ Гц}; \quad f_{2\_23} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a + \sqrt{a^2 - 4c}}{2}} = 7,04 \text{ Гц},$$

где  $a = (p_{01} + p_{02})/J_{02} + p_{02}/J_{03} = 2083,33$ ;  $c = p_{01}p_{02}/(J_{02}J_{03}) = 250\,000$ . В нашем случае эффект закрепленного первого диска создается с помощью глубокой обратной связи по первой скорости ( $J_{01} \cong +\infty$ ).

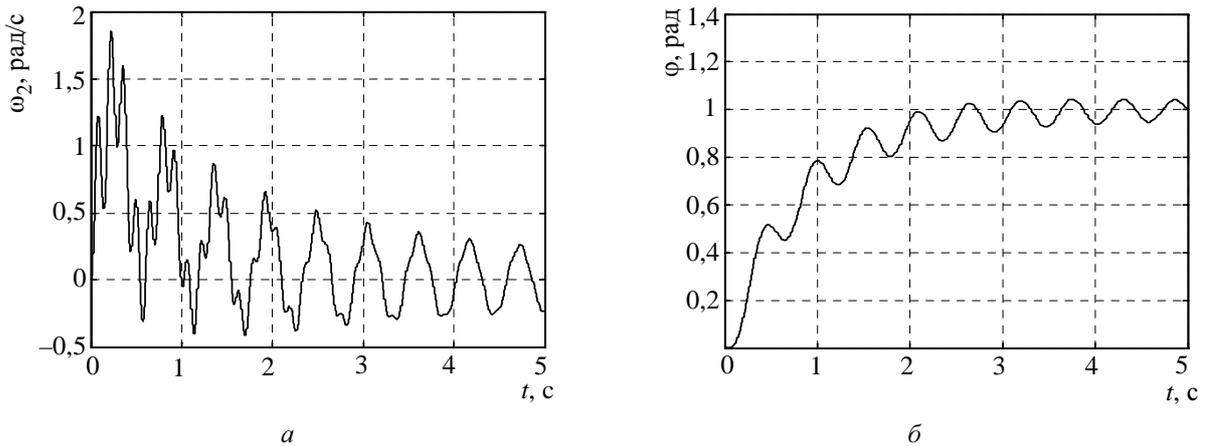


Рис. 4

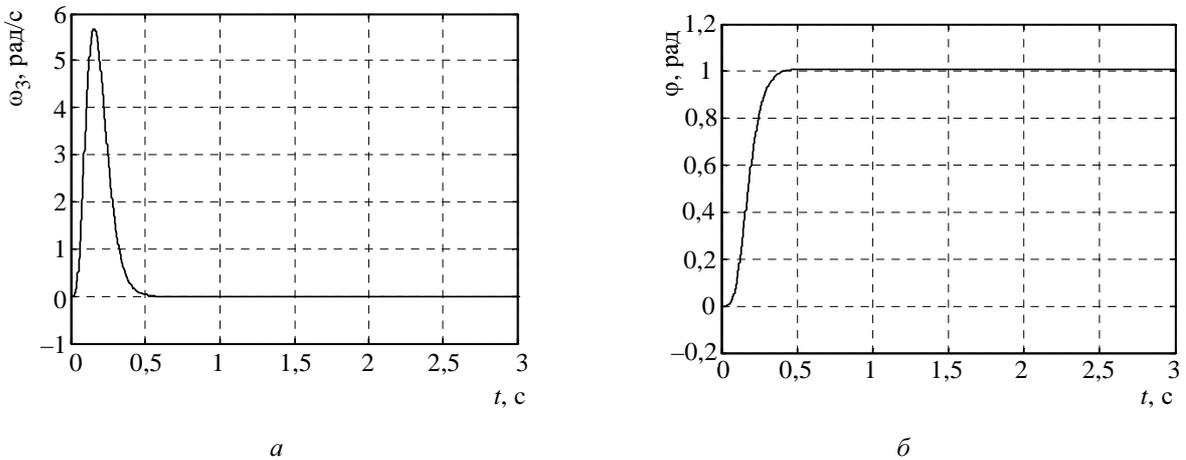


Рис. 5

На рис. 5 показана реакция адаптивной системы управления с параметрической настройкой (АСУПН) на ступенчатое входное воздействие при усредненных постоянных параметрах объекта  $p_1 = p_{01}$ ;  $p_2 = p_{02}$ ;  $J_1 = J_{01}$ ;  $J_2 = J_{02}$ ;  $J_3 = J_{03}$  и с рассчитанными в рамках «жесткой» системы коэффициентами передачи контурных П-регуляторов  $\beta_{\Pi}$ ,  $\beta_c$ , причем рис. 5, а показывает переходный процесс угловой скорости третьего диска, а рис. 5, б – переходный процесс угла поворота нагрузки. Из графиков на рис. 5 видно, что в АСУПН не только успешно подавлены двухрезонансные упругие колебания, которые возникали в упругом объекте без адаптивного управления (см. рис. 4), но и резко повышено быстродействие системы, которое стало сравнимым с быстродействием «жесткого» объекта, показанным на рис. 3.

Если параметры объекта остаются равными или сравнимыми с усредненными значениями, то с задачей подавления упругих колебаний могут справиться и другие управления, например, модальное. Поэтому проведем исследования эффективности работы АСУПН при сильном изменении параметров объекта и сопоставляем их с результатами работы неадаптивной модальной системы управления (МСУ). Чтобы оценить действие наблюдателя исследования проведены в двух случаях: с наблюдателем состояния (10) рассматриваемого объекта и в предположении, что все переменные состояния объекта доступны изменению с помощью датчиков (наблюдатель не требуется).

На рис. 6, *а* показаны графики переходных процессов угла поворота нагрузки при работе АСУПН с наблюдателем состояния и при изменении коэффициента упругости  $p_2$ , где кривая 1 – при  $p_2 = p_{02}$ ; кривая 2 – при  $p_2 = 3p_{02}$ ; кривая 3 – при  $p_2 = p_{02}/3$ . На рис. 6, *б* показаны графики переходных процессов угла поворота нагрузки при работе АСУПН с наблюдателем состояния и при изменении момента инерции третьего диска  $J_3$ , где кривая 1 – при  $J_3 = J_{03}$ ; кривая 2 – при  $J_3 = J_{03}/2$ ; кривая 3 – при  $J_3 = 3J_{03}$ .

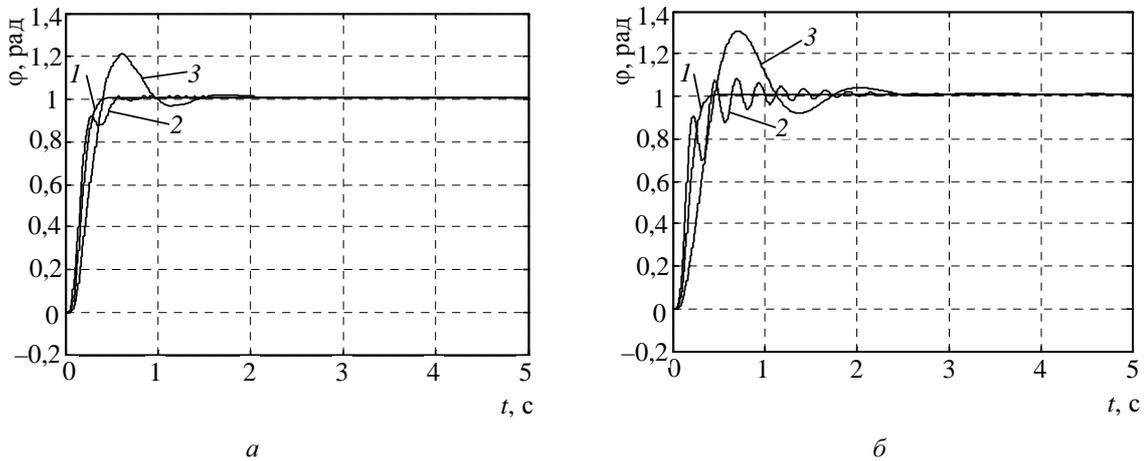


Рис. 6

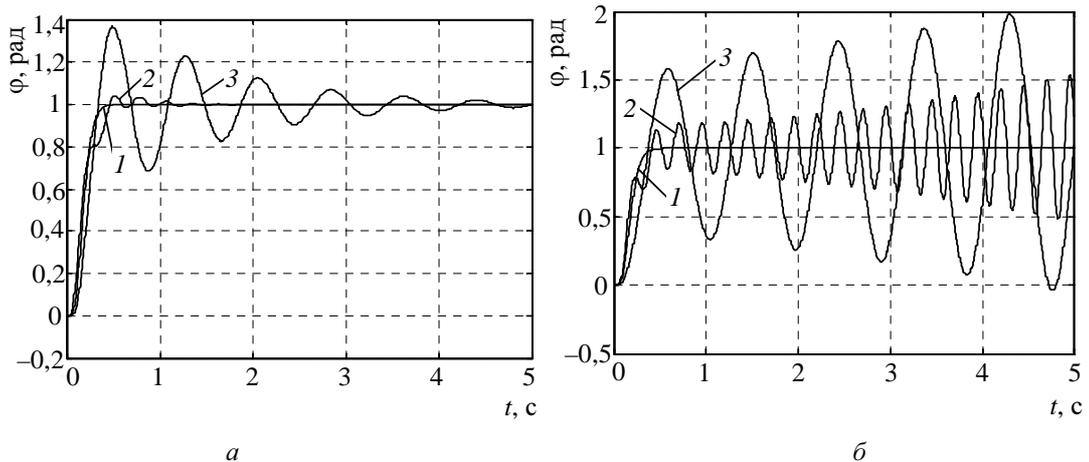


Рис. 7

На рис. 7, *а* для сравнения показаны графики неадаптивных переходных процессов угла поворота нагрузки при работе МСУ с наблюдателем состояния и при изменении коэффициента упругости  $p_2$ , где кривая 1 – при  $p_2 = p_{02}$ ; кривая 2 – при  $p_2 = 3p_{02}$ ; кривая 3 – при

$p_2 = p_{02}/3$ . На рис. 7, б показаны графики переходных процессов угла поворота нагрузки при работе МСУ с наблюдателем состояния и при изменении момента инерции третьего диска  $J_3$ , где кривая 1 – при  $J_3 = J_{03}$ ; кривая 2 – при  $J_3 = J_{03}/1,5$ ; кривая 3 – при  $J_3 = 3J_{03}$ .

Из рис. 6, 7 видно, что при девятикратном изменении параметра  $p_2$  или при шестикратном изменении параметра  $J_3$  работоспособность адаптивной системы управления с наблюдателем состояния сохраняется с удовлетворительным качеством переходных процессов, а модальная система управления с таким же наблюдателем при равном или даже меньшем диапазоне изменений параметров объекта является неработоспособной.

На рис. 8, а показаны графики переходных процессов угла поворота нагрузки при работе АСУПН с действительными переменными состояния объекта и при изменении коэффициента упругости  $p_2$ , где кривая 1 – при  $p_2 = p_{02}$ ; кривая 2 – при  $p_2 = 5p_{02}$ ; кривая 3 – при  $p_2 = p_{02}/5$ . На рис. 8, б показаны графики переходных процессов угла поворота нагрузки при работе АСУПН с действительными переменными состояния объекта и при изменении момента инерции третьего диска  $J_3$ , где кривая 1 – при  $J_3 = J_{03}$ ; кривая 2 – при  $J_3 = J_{03}/6$ ; кривая 3 – при  $J_3 = 5J_{03}$ .

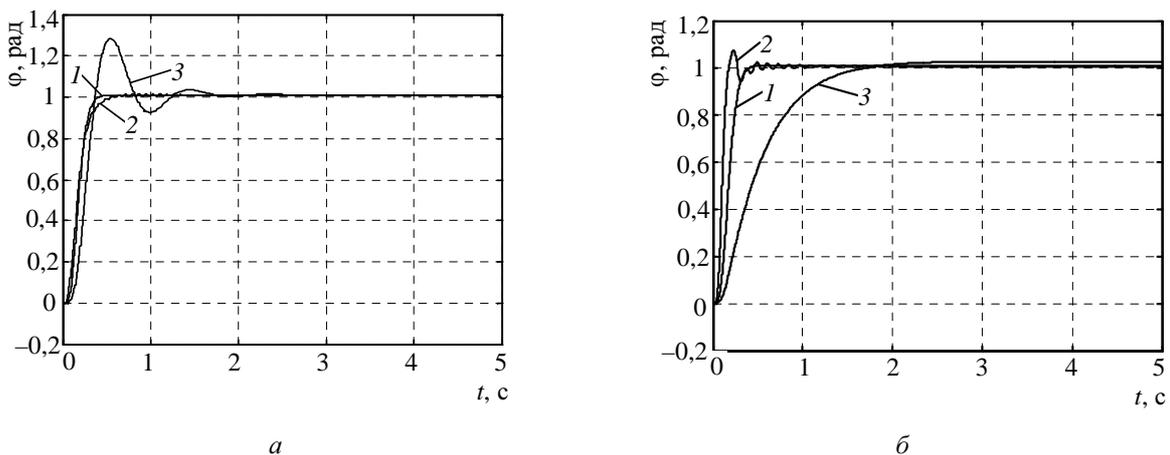


Рис. 8

На рис. 9, а для сравнения показаны графики неадаптивных переходных процессов угла поворота нагрузки при работе МСУ с действительными переменными состояния объекта и при изменении коэффициента упругости  $p_2$ , где кривая 1 – при  $p_2 = p_{02}$ ; кривая 2 – при  $p_2 = 5p_{02}$ ; кривая 3 – при  $p_2 = p_{02}/4$ . На рис. 9, б показаны графики переходных процессов угла поворота нагрузки при работе МСУ с действительными переменными состояния объекта и при изменении момента инерции третьего диска  $J_3$ , где кривая 1 – при  $J_3 = J_{03}$ ; кривая 2 – при  $J_3 = J_{03}/4$ ; кривая 3 – при  $J_3 = 5J_{03}$ .

Из рис. 8, 9 видно, что при двадцатипятикратном изменении параметра  $p_2$  или при тридцатикратном изменении параметра  $J_3$  работоспособность адаптивной системы управления сохраняется с удовлетворительным качеством переходных процессов, тогда как модальная система управления в таких же условиях (т. е. с полностью измеряемым упругим объектом) при равном или даже меньшем диапазоне изменения параметров является неработоспособной.

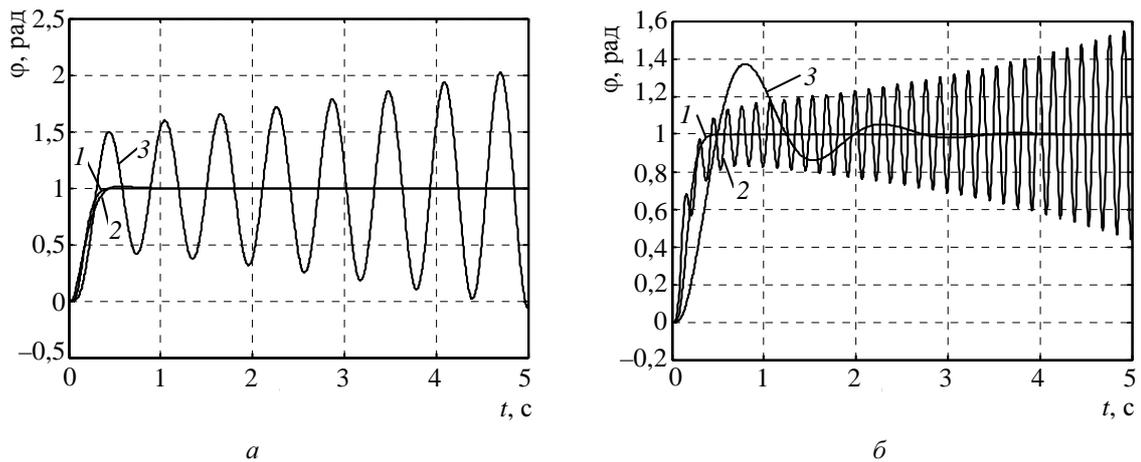


Рис. 9

Сравнивая рис. 6 и 8, можно видеть, что применение стационарного наблюдателя при реализации адаптивной системы несколько снижает ее потенциальные возможности, что и должно быть. Исследования показывают, что указанный недостаток преодолевается в рамках комбинированной адаптивной системы, в которой стационарный наблюдатель заменяется адаптивным наблюдателем с сигнальной настройкой [3].

Существенное влияние на точность слежения рассматриваемых систем управления трехмассовым упругим электромеханическим объектом оказывают такие нелинейности, как зазоры в упругих связях (2), (3) и сухое трение (4). Проведем сравнительное исследование эффективности работы АСУПН с мажорирующими функциями с работой неадаптивной МСУ в условиях действия указанных нелинейностей. Результаты моделирования представлены на рис. 10 при ступенчатом задающем воздействии  $\varphi_{зад} = u_0 = 3k_{II} = 0,0285 \text{ В}$ .

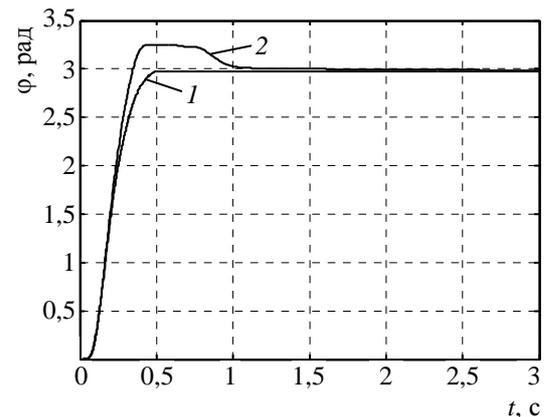


Рис. 10

На рис. 10 показаны графики переходных процессов угла поворота нагрузки при работе АСУПН с мажорирующими функциями и наблюдателем состояния (кривая 1), и при работе МСУ с таким же наблюдателем (кривая 2).

Графики на рис. 10 показывают, что при наличии зазоров и сухого трения прямая адаптивная система с параметрической настройкой и мажорирующими функциями позволяет привести ошибки управления к минимуму, в тоже время модальная система в таких же условиях работы не может устранить погрешности управления в задачах слежения для рассматриваемого трехмассового нелинейного упругого электромеханического объекта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Путов В. В. Адаптивное и модальное управление механическими объектами с упругими деформациями: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002.
2. Путов В. В. Адаптивное управление динамическими объектами: беспоисковые системы с эталонными моделями: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001.
3. Семейство аналитических и интеллектуальных адаптивных систем управления нелинейными упругими электромеханическими объектами: / В. В. Путов, В. Н. Шелудько, В. В. Лебедев и др. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 10. С. 16–24.

*The direct adaptive system with parametric tuning and majorizing functions is designed for control of three-mass nonlinear time-varying elastic electromechanical objects. The efficiency of two-resonance elastic oscillations suppression and the accuracy of control is estimated under conditions of parametric variation and availability of some nonlinearities in elastic objects.*

**Direct adaptive system, parametric tuning, majorizing functions, three-mass elastic electromechanical object**

УДК 681.51

*Ю. А. Лукомский, А. Г. Шнекторов*

## **НЕПРЯМАЯ КВАДРАТИЧНАЯ ЗАДАЧА ПРИ СИНТЕЗЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СКОРОСТНЫХ СУДОВ**

*Предлагается аналитическое конструирование многоканальных регуляторов по заранее заданным собственным числам замкнутой системы управления. Анализируются особенности применения такого метода при синтезе систем управления движением скоростных судов. Рассматриваются задачи стабилизации вертикального перемещения судна с глубокопогруженными крыльями и горизонтального движения судна на воздушной подушке относительно заданного маршрута.*

**Скоростные суда, синтез по заданным собственным частотам, линейный квадратичный регулятор**

Скоростные суда (на подводных крыльях, воздушной подушке, с механизированным днищем, с гидродинамической разгрузкой) от других типов морских подвижных объектов отличаются пониженным запасом устойчивости и быстротечностью аварийных процессов, обусловленных ослаблением контакта корпуса судна с водной средой. В условиях разнообразных ветро-волновых возмущений обеспечить стабилизацию и управляемость движения судна в различных режимах удастся при автоматическом управлении.

Эффективность использования технических средств управления движением в значительной степени зависит от того, насколько при формировании законов управления учитываются естественные возможности управляемых объектов. При большой кинетической энергии движущегося скоростного судна попытки быстрого изменения кинематических параметров наверняка потребуют чрезмерных управляющих воздействий. Нежелательно также, чтобы процессы управляемого движения носили колебательный характер. Для этого уже на этапе синтеза законов управления следует добиваться заранее определенных вещественных собственных чисел (собственных частот) замкнутой системы управления движением. При выборе этих значений полезно опираться на синергетические принципы [1].

Один из основополагающих принципов синергетики утверждает, что цель управления должна отражать физический смысл желаемого движения объекта. Применительно к скоростным судам это означает, что качество работы системы управления движением в наибольшей степени определяется собственными числами, от которых зависят ее динамические характеристики (запас устойчивости, быстроедействие, фильтрующие свойства и т. п.).

Другой принцип синергетики гласит, что эффективность управления напрямую зависит от того, насколько используются потенциальные возможности объекта. Согласно этому принципу при задании желаемых собственных чисел системы управления следует

ориентироваться на собственные числа управляемого объекта, по возможности используя эти же значения. Изменению подлежат прежде всего нулевые (или близкие к нулю) и правые корни характеристического полинома.

При одноканальной системе управления задача синтеза по собственным частотам имеет единственное решение (если для объекта выполняется условие управляемости) и хорошо проработана, в том числе и применительно к управлению скоростными судами [2], [3]. Авторы предлагаемой статьи анализируют два подхода к решению этой задачи, когда в системе присутствует несколько управляющих воздействий. Для иллюстрации приводятся примеры синтеза системы стабилизации судна с глубоководными крыльями (СПК-ГПК) в вертикальной плоскости и системы стабилизации судна на воздушной подушке амфибийного типа (СВП) в горизонтальной плоскости на заданной траектории движения. При этом используются универсальные модели управляемых объектов, приведенные в [4].

**Прямая и непрямая квадратичные задачи.** Прямая квадратичная задача аналитического конструирования регулятора состояния [5] предполагает известную модель неизменяемой части системы в виде уравнений Коши

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u},$$

и условие минимизации заданного квадратичного критерия качества

$$J = 0.5 \int_0^{\infty} (\mathbf{x}^T \lambda_x \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \lambda_u \mathbf{u}) dt,$$

где  $\mathbf{x}$  –  $n$ -мерный вектор состояния;  $\mathbf{u}$  –  $r$ -мерный вектор управления;  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$  – матрицы известных постоянных коэффициентов;  $\lambda_x$ ,  $\lambda_u$  – диагональные матрицы весовых множителей, назначенные проектировщиком.

Закон управления  $\mathbf{u} = \mathbf{G}\mathbf{x}$ , где  $\mathbf{G} = -\lambda_u^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{K}$  – матрица коэффициентов обратных связей, определяется после решения уравнения Риккати относительно квадратной матрицы подобия  $\mathbf{K}$

$$\mathbf{K}\mathbf{B}\lambda_u^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{K} - \mathbf{K}\mathbf{A} - \mathbf{A}^T \mathbf{K} = \lambda_x.$$

Отметим, что собственные числа замкнутой системы с рассчитанным регулятором, характеристический полином которой имеет вид

$$D(p) = \det(p\mathbf{I} - (\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{G})),$$

зависят целиком от назначаемых весовых матриц.

Чтобы получить требуемые собственные числа, приходится, варьируя весовые коэффициенты, решать поисковую задачу, которая во многих случаях не приводит к желаемому результату. Эффективнее по заранее заданным собственным числам рассчитать регулятор с помощью уравнения Риккати, но для этого необходимо определить весовые матрицы. Квадратичная задача становится непрямой.

Условие для определения весовых множителей можно получить через характеристический определитель основных и сопряженных уравнений оптимальной линейной системы [3], имея в виду, что его корни должны соответствовать задаваемым собственным числам:

$$\det \begin{bmatrix} pI - A & -B\lambda_u^{-1}B^T \\ -\lambda_x & pI + A^T \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^n (p - p_i) \prod_{i=1}^n (p + p_i). \quad (1)$$

Так как в (1) полиномы четные, то появляются  $n$  уравнений относительно  $n + r$  неизвестных элементов весовых матриц  $\lambda_x$  и  $\lambda_u$ .

Задача аналитического конструирования регулятора состояния при помощи уравнения Риккати имеет решение в том случае, если матрица  $\lambda_u$  положительно определена и обратима. Назначая соответствующим образом  $r$  множителей матрицы  $\lambda_u$ , можно обеспечить условие существования оптимального регулятора и одновременно разрешить неоднозначность системы уравнений, получаемой из (1). Кроме того, варьируя весовые множители по величине, можно распределять нагрузки управления между каналами.

В общем случае система уравнений относительно весовых множителей приводится к виду

$$c_{0_k} + \sum_{i=1}^n c_{i_k} \lambda_{x_i} + \sum_{\substack{i=1 \\ j=2 \\ i < j}}^n c_{ij_k} \lambda_{x_i} \lambda_{x_j} = d_k, \quad k = 1 \dots n, \quad (2)$$

где коэффициенты  $c_0, c_{i_k}, c_{ij_k}$  определяются параметрами модели и априорно заданными множителями  $\lambda_{u_i}, i = 1 \dots r$ , а  $d_k$  – желаемыми собственными числами.

Таким образом, непрямая квадратичная задача сводится к решению системы уравнений (2) относительно весовых множителей матрицы  $\lambda_x$ , которая является нелинейной, так как в определителе левой части (1) присутствуют парные перемножения неизвестных. В объектах высокого порядка количество нелинейностей возрастает, что может привести к усложнению вычислительного процесса и появлению решений не только в форме положительных вещественных значений (что естественно для оптимизационной задачи), но и в виде комплексно-сопряженных пар.

Для синтеза квадратичного регулятора по заданным собственным числам было создано программное обеспечение в среде MATLAB, с использованием функций специализированного пакета символьной алгебры (Symbolic Math Toolbox) и численных методов. При помощи средств символьной алгебры осуществляется разложение левой части (1) по степеням полинома, полученная таким образом система алгебраических уравнений (2) решается численными методами во избежание нахождения ложных решений.

**Эвристический подход к синтезу многоканальных регуляторов состояния по заданным собственным числам.** Сложность решения непрямой квадратичной задачи в силу ее нелинейного характера проявляется в большей или меньшей степени в зависимости от особенностей математической модели управляемого объекта. Наибольшие трудности возникают, когда объекты содержат нулевые кратные полюса. В этих случаях ради упрощения вычислительного процесса можно перейти к линейному решению путем частичного назначения обратных связей.

В системе  $n$ -го порядка с числом управлений  $r$  регулятор состояния, синтезируемый по собственным числам, имеет  $n(r - 1)$  линейно-зависимых коэффициентов, которые можно назначить. Это фактически сводит задачу к синтезу системы с одним каналом

управления. Вместе с тем следует отметить, что процедура назначения коэффициентов представляет значительную проблему для проектировщика, поэтому применение такого подхода без крайней необходимости нецелесообразно.

Далее приводятся примеры синтеза систем стабилизации скоростных судов, которые иллюстрируют оба подхода к задаче.

**Синтез регулятора для стабилизации вертикального движения судна с глубоко погруженными крыльями (СПК-ГПК).** Математическая модель движения СПК-ГПК в вертикальной плоскости имеет вид

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \omega_z \\ \alpha \\ \psi \\ y_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{42} & a_{43} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_z \\ \alpha \\ \psi \\ y_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{bmatrix},$$

где  $\omega_z$  – угловая скорость килевой качки;  $\psi, \alpha$  – углы дифферента и атаки соответственно,  $y_g$  – ордината центра масс СПК;  $\delta_1, \delta_2$  – углы поворота закрылков носового и кормового крыла;  $a_{ij}, b_{ij}$ , – постоянные коэффициенты, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

**Коэффициенты математической модели СПК**

$a_{11}$	-39,2	$a_{22}$	-16.0	$b_{11}$	-20.7
$a_{12}$	-3,65	$a_{23}$	-0.34	$b_{12}$	12.6
$a_{13}$	-5,14	$a_{24}$	0.234	$b_{21}$	1.83
$a_{14}$	0,965	$a_{42}$	-12.0	$b_{22}$	2.04
$a_{21}$	0,9	$a_{43}$	12.0	–	–

Из четырех собственных чисел матрицы  $A$  три отрицательные (-38.9276, -15.9430, -0.7053) и одно положительное (0.3759). Соответственно, в замкнутой системе следует отрицательные собственные числа оставить без изменения, а в положительном изменить знак.

Таблица 2

**Результаты синтеза регулятора для СПК-ГПК**

$\bar{p}_1 \dots \bar{p}_4$	$\lambda_{u1}, \lambda_{u2}$	$\lambda_{x1} \dots \lambda_{x4}$	$G^T$	
-38.93 -15.94 -0.70 -0.37	1 1	-9.6E-5 -6.04E-6 -0.1487 -3.96E-4	-0.0246 0.0355 -1.0058 -0.0409	0.0101 -0.0153 0.4149 0.0178
-38.93 -15.94 -0.70 -0.37	1 0.5	-7.62E-5 1.28E-5 -0.1175 -3.13E-4	-0.0252 0.0362 -1.0292 -0.0418	0.0104 -0.0156 0.4252 0.0180
-38.93 -15.94 -0.70 -0.37	0.5 1	-5.55E-5 -2.72E-5 -0.0856 -2.19E-4	-0.0260 0.0375 -1.0611 -0.0432	0.0107 -0.0159 0.4380 0.0184
-38.93 -15.94 -0.70 -0.61	1 1	4.69E-4 0.0015 0.7146 0.0020	-0.0370 0.0545 -1.5148 -0.0632	0.0155 -0.0190 0.6288 0.0214

Синтез закона управления осуществляется при допущении, что вектор состояния системы полностью измеряем или может быть восстановлен с достаточной точностью. Результаты синтеза для различных соотношений весовых множителей  $\lambda_{u1}, \lambda_{u2}$  сведены в табл. 2.

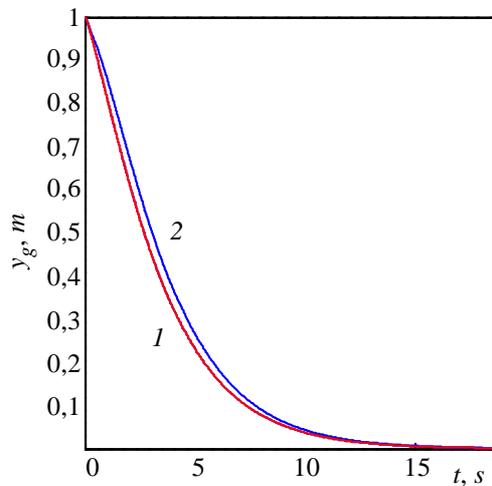


Рис. 1. Результаты моделирования стабилизации СПК по высоте, 1 – линейная модель, 2 – нелинейная модель

На рис. 1 приведены результаты моделирования компенсации начального отклонения от заданной высоты – 1 м по линейной модели и с учетом ограничений и с ограничениями на угол поворота закрылков ( $|\delta_{1,2}| < 10^\circ$ ) и на скорость их поворота ( $|\dot{\delta}_{1,2}| < 5^\circ/\text{с}$ ).

Полученные результаты подтверждают эффективность предлагаемого подхода. Если нет дополнительных требований по величине запаса устойчивости, в желаемом характеристическом полиноме левые корни следует оставить без изменения, а правый – сдвинуть в левую полуплоскость симметрично мнимой оси. Если необходимо увеличить запас устойчивости, можно увеличить значение этого корня до  $0.6 \text{ с}^{-1}$ .

**Синтез системы стабилизации судна на воздушной подушке на заданной траектории.** Математическая модель движения СВП в горизонтальной плоскости также может быть получена на основе унифицированной модели [4], однако для обеспечения структурного астатизма по величине бокового отклонения от заданной траектории ее следует расширить введением дополнительного интегрирующего звена:

$$\begin{bmatrix} \dot{\omega}_y \\ \dot{\beta} \\ \dot{\varphi} \\ \dot{z}_g \\ \dot{\xi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{42} & a_{43} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_y \\ \beta \\ \varphi \\ z_g \\ \xi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \\ \gamma \end{bmatrix},$$

где  $\omega_y$  – угловая скорость рыскания;  $\varphi, \beta, \delta$  – углы курса, дрейфа и перекладки руля соответственно,  $z_g$  – отклонение от линии заданного галса;  $\xi$  – дополнительная переменная для обеспечения астатизма;  $\gamma$  – приведенный угол перекладки лопастей винтов изменяемого шага (ВИШ);  $a_{ij}, b_{ij}$  – коэффициенты математической модели, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты математической модели СВП

$a_{11}$	0.000	$b_{11}$	0.932
$a_{12}$	-0.419	$b_{21}$	0.651
$a_{21}$	1.000	$b_{12}$	0.104
$a_{22}$	-0.108	$b_{22}$	0.000
$a_{42} = -a_{43}$	25.400	–	–

Расширенная модель горизонтального движения СВП имеет два левых комплексно-сопряженных и три нулевых полюса. В [2] был обоснован выбор биномиального характеристического полинома в качестве желаемого.

Результаты синтеза регулятора на основании соотношений (1), (2) при разных значениях кратных собственных чисел приведены в табл. 4. Из таблицы видно, что при значениях, превышающих 0.25, синтезировать регулятор не удается ввиду плохой обусловленности системы уравнений относительно весовых множителей.

Таблица 4

Результаты синтеза регулятора для СВП

$\bar{p}_i$	$\Lambda_u$	Число итераций	$\lambda_{x1} \dots \lambda_{x5}$	$G^T$	
0.3	Diag(1, 1)	90	0.9957 -0.9331 0.8544 0.0004 -0.0001	-	
0.25	Diag(1, 1)	10	0.8857 -0.4977 0.3878 0.0000 0.0000	0.8668 -1.3178	0.7240 -1.0644 1.1912 -0.0070 -0.0004
0.2	Diag(1, 1)	9	0.7963 -0.2134 0.0853 0.0000 0.0000	0.6699 -0.7834	0.5364 -0.6154 0.5960 -0.0026 -0.0001

Для улучшения процедуры синтеза следует воспользоваться эвристическим подходом. Система уравнений в этом случае также остается нелинейной, содержащей парные произведения искомым коэффициентов обратной связи. Назначив часть коэффициентов, задачу можно свести к линейной.

Линейность, очевидно, достигается, когда заранее заданы все коэффициенты по одному из управляющих воздействий, что фактически приводит к синтезу скалярного управления. Однако иногда, в зависимости от особенностей математической модели объекта, желательно заранее назначать все коэффициенты по какому-либо кинематическому параметру. Для данной модели можно априорно назначать коэффициенты по углу дрейфа в сочетании  $\{g_{11}, g_{12}, g_{22}, g_{13}, g_{14}\}$  или углу курса  $\{g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{23}, g_{14}\}$ .

Таблица 5

Коэффициенты регулятора СВП для  $\bar{p}_i = 0.3 \text{ с}^{-1}$

Обозначение	Коэффициенты, назначаемые априорно	$G^T$			
1-й канал управления ( $\delta$ )	$\{g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{14}, g_{15}\}$	0.8688	1.1053	1.0637	0.9116
		-1.3178	-2.4977	-1.8522	-1.9264
		1.3590	2.9283	2.0155	2.2332
		0.0051	-0.0191	-0.0077	-0.0155
		-0.0002	-0.0012	-0.0003	-0.0010
Связь по углу дрейфа ( $\beta$ )	$\{g_{11}, g_{12}, g_{22}, g_{13}, g_{14}\}$	0.8668	1.1081	1.0637	0.9116
		-1.3178	-1.0644	-1.8522	-1.5134
		1.3590	1.6251	2.0155	1.8660
		0.0051	0.1449	-0.0077	0.0514
		0.1329	-0.0358	0.0597	-0.0254

Обозначение	Коэффициенты, назначаемые априорно	$G^T$			
Связь по углу курса ( $\varphi$ )	$\{g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{23}, g_{14}\}$	0.8668	1.1081	1.0637	0.9116
		-1.3178	-0.5885	-1.8522	-1.4262
		1.3590	1.1922	2.0155	1.7884
		-0.0051	0.1816	-0.0077	0.0633
		0.1670	-0.0380	0.0707	-0.0294
2-й канал управления ( $\gamma$ )	$\{g_{21}, g_{22}, g_{23}, g_{24}, g_{25}\}$	1.3237	0.7244	1.1576	0.9116
		-3.0094	-1.0644	-2.6932	-1.5134
		3.4118	1.1912	2.9712	1.7884
		-0.0193	-0.0070	-0.0151	-0.0114
		-0.0012	-0.0004	-0.0009	-0.0007

Выбор значений коэффициентов обратной связи представляет собой довольно сложную задачу для проектировщика. Чтобы уменьшить диапазон поиска, можно воспользоваться решениями не прямой квадратичной задачи, приведенными в табл. 5.

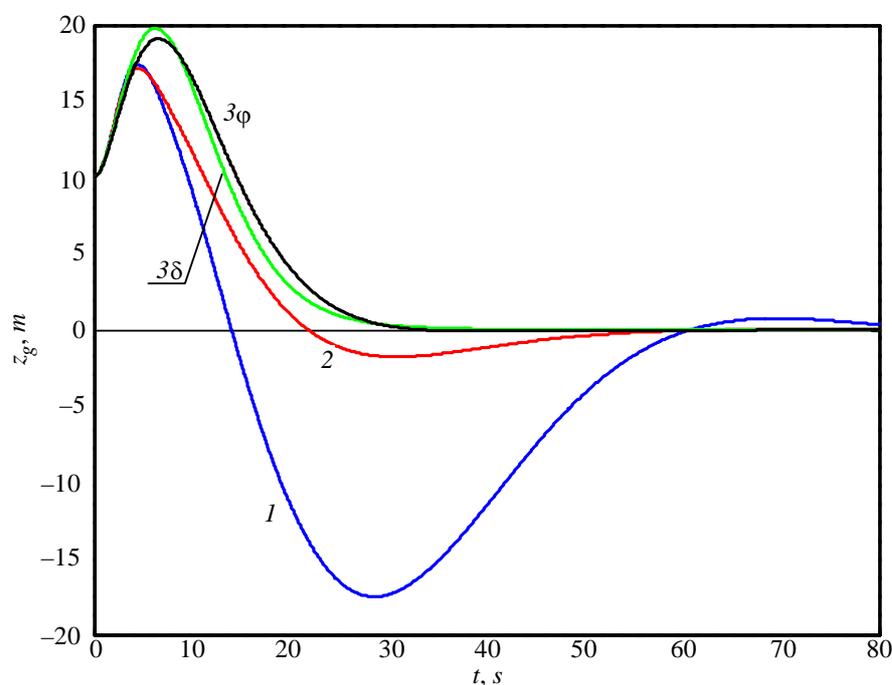


Рис. 2. Результаты моделирования стабилизации СВП: 1 –  $\bar{p}_i = 0.2 \text{ с}^{-1}$ ;  
2 –  $\bar{p}_0 = 0.25 \text{ с}^{-1}$ ;  $3\delta, 3\varphi - \bar{p}_i = 0.3 \text{ с}^{-1}$

Далее приводятся результаты расчета регулятора по заданному собственному числу  $0.3 \text{ с}^{-1}$ . Расчеты осуществляются для двух вариантов: с априорными значениями коэффициентов, соответствующих собственному числу  $0.25 \text{ с}^{-1}$ , и со смещенными значениями, основываясь на предположении, что зависимость между собственными числами и коэффициентами близка к линейной в диапазоне  $0.2 \dots 0.3 \text{ с}^{-1}$ . Результаты численного решения системы уравнений для различных сочетаний априорно назначаемых коэффициентов обратных связей сведены в табл. 5.

Таким образом, применение эвристического подхода позволяет получить семейство регуляторов. Далее, путем исследования динамических характеристик, а также принимая во внимание распределение нагрузки по каналам управления, выбирается наиболее предпочтительный. Для сравнения выберем регуляторы, соответствующие заданным коэффициентам по первому каналу управления, и по углу курса (см. табл. 5).

На рис. 2 приведены результаты моделирования стабилизации СВП на заданной траектории с регуляторами, полученными при собственных числах  $\bar{p}_i = 0.2 \text{ c}^{-1}$ ,  $\bar{p}_i = 0.25 \text{ c}^{-1}$  решением не прямой задачи и при  $\bar{p}_i = 0.3 \text{ c}^{-1}$  – с использованием эвристического подхода. Как видно из рис. 2, эвристический подход позволяет сформировать регулятор по кратным корням с наилучшим качеством переходного процесса.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1) предложенные подходы к синтезу многоканальных регуляторов, обеспечивающих заданные собственные числа эффективны в соответствии с принципами синергетической теории управления;

2) можно сделать следующие рекомендации по использованию этих подходов:

– для объектов, математические модели которых не содержат кратных полюсов, целесообразно использовать решение не прямой квадратичной задачи;

– для объектов, математические модели которых имеют кратные полюса, предпочтительнее применять эвристический подход.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. А. Колесников. Синергетическая теория управления. Таганрог: ТРТУ, М.: Энергоатомиздат, 1994.
2. В. А. Зуев, Ю. А. Лукомский, А. Г. Шпекторов. Автоматическая стабилизация судна на воздушной подушке на заданной траектории // Гироскопия и навигация. 2003. № 3. С. 26–37.
3. Ю. А. Лукомский, В. М. Корчанов. Управление морскими подвижными объектами. СПб.: Элмор, 1996.
4. Ю. А. Лукомский, В. Г. Пешехонов, Д. А. Скороходов. Навигация и управление движением судов. СПб.: Элмор, 2002.
5. А. М. Летов. Аналитическое конструирование регуляторов // Автоматика и телемеханика. 1960. № 4. С. 436–441; № 5 С. 561–568; № 6 С. 661–665.

*Yu. A. Lukomskiy, A. G. Shpektorov*

### *INDIRECT QUADRATIC SYNTHESIS OF THE HIGH-SPEED OCEAN VEHICLE'S CONTROL SYSTEM*

*An indirect quadratic synthesis method of modal regulator design for MIMO-system is proposed. The characters of the high-speed ocean vehicle's control system synthesis are analysed. The vertical stabilization of a hydrofoil craft and the horizontal stabilization of an air-cushion craft are considered.*

### **High-Speed Ocean Vehicle, Modal Synthesis, Linear Quadratic Regulator**





УДК 621.396.9

А. О. Чемаров

## УСТОЙЧИВАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ШУМА ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОМОНИТОРИНГА

*Описан новый способ оценки уровня шума для радиомониторинга, устойчивый к заполненности просматриваемого частотного диапазона. Методом статистического моделирования получена зависимость доверительного интервала предложенной оценки от заполненности просматриваемого частотного диапазона.*

**Радиомониторинг, оценка уровня шума, устойчивая оценка, заполненность частотного диапазона, доверительный интервал**

В радиомониторинге наблюдаемые данные представляются в виде амплитуд отсчетов спектральной функции (частотных отсчетов наблюдаемой выборки – ЧОНВ)  $A(n)$ ,  $n = 1 \dots N$ ,  $N$  – объем наблюдаемой выборки (рис. 1). Используемые в настоящее время оценки уровня шума – медиана ЧОНВ и цензурированная медиана ЧОНВ – не обладают устойчивостью к заполненности частотного диапазона (ЧД) (рис. 2). Нестабильность этих оценок ведет к завышению порога обнаружения, что является причиной пропуска слабых сигналов, а также изменения вероятности ложной тревоги.

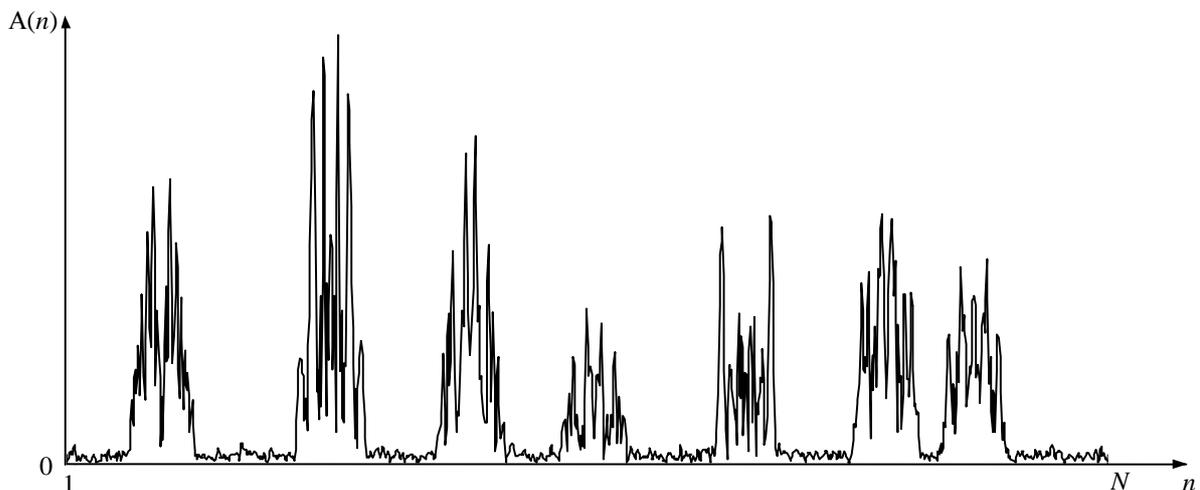


Рис. 1

Под заполненностью ЧД (ЗЧД)  $q$  понимается доля ЧОНВ, на которых присутствуют обнаруживаемые сигналы. В подавляющем большинстве практических ситуаций в КВ- и УКВ-диапазонах ЗЧД составляет 0.2...0.3, но необходимо обеспечить устойчивое обнаружение слабых сигналов при ЗЧД до 0.5...0.6, т. е. требуется стабильная оценка уровня шума ( $\eta$  – СКО шумовых ЧОНВ,  $\hat{\eta}$  – оценка СКО шумовых ЧОНВ).

В общем случае оценки уровня шума обладают возрастающим смещением  $m(\hat{\eta}/\eta)$ , где  $m(\cdot)$  – математическое ожидание. Смещение возрастает при увеличении неопределяемого параметра ЗЧД  $q$ , математическое ожидание оценок и их СКО являются функциями от ЗЧД (рис. 2). На рис. 2 показана зависимость математического ожидания оценок шума от ЗЧД: 1 – рекомендуемая оценка, 2 – цензурированная медиана, 3 – медиана. В ходе проведенных исследований установлено, что оценки с меньшим СКО при фиксированном значении параметра ЗЧД обладают большим смещением как функцией от ЗЧД. Поэтому сравнение оценок производилось по параметру, учитывающему как их смещение, так и СКО. В качестве такого параметра была выбрана ширина доверительного интервала оценки  $d$  с уровнем значимости 99 % при произвольной ЗЧД от 0 до  $q_{\max}$  (рис. 3).

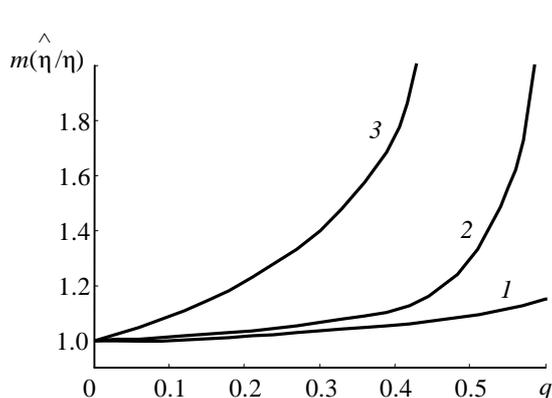


Рис. 2

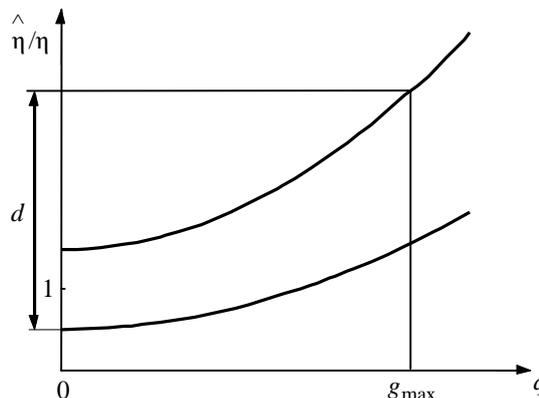


Рис. 3

Используемые в настоящее время способы оценки уровня шума, основанные на сортировке ЧОНВ (медиана и цензурированная медиана ЧОНВ), не используют тот факт, что частотные отсчеты, соответствующие одному и тому же сигналу, как правило, не распределены по всему частотному диапазону, а сосредоточены в одном частотном интервале. В связи с этим помимо оценок, основанных только на сортировке ЧОНВ, была исследована оценка, для получения которой просматриваемый ЧД разбивался на соизмеримые со средней шириной обнаруживаемых сигналов равные интервалы. Для краткости эта оценка упоминается как «рекомендуемая» оценка. Разбиение просматриваемого ЧД на интервалы производится с целью определения интервалов с наименьшим уровнем сигнальных составляющих. Уровень отсчетов этих интервалов в основном определяется уровнем шума, поэтому по отсчетам интервалов с наименьшим уровнем сигнальных составляющих устанавливается порог цензурирования, назначение которого – разделить сигнальные и шумовые ЧОНВ.

Для получения рекомендуемой оценки производятся следующие действия:

- 1) ЧОНВ делятся на смежные интервалы (рис. 4). Ширина интервалов  $\Delta N$ ;
- 2) находятся средние значения  $m_j$  отсчетов каждого интервала (рис. 5);
- 3)  $m_j$  сортируются по возрастанию:  $\{m_j : m_{j1} \leq m_{j2}, j1 < j2\}$ ;

- 4) определяется порог цензурирования  $z = M \cdot m_i$ , где  $M$  – коэффициент цензурирования (о выборе  $i$  и  $M$  будет сказано далее);
- 5) находится медиана ЧОНВ, не превысивших порог, определенный в п. 4 (рис. 6);
- 6) найденная в п. 5 медиана умножается на коэффициент  $K = 1.212$ .

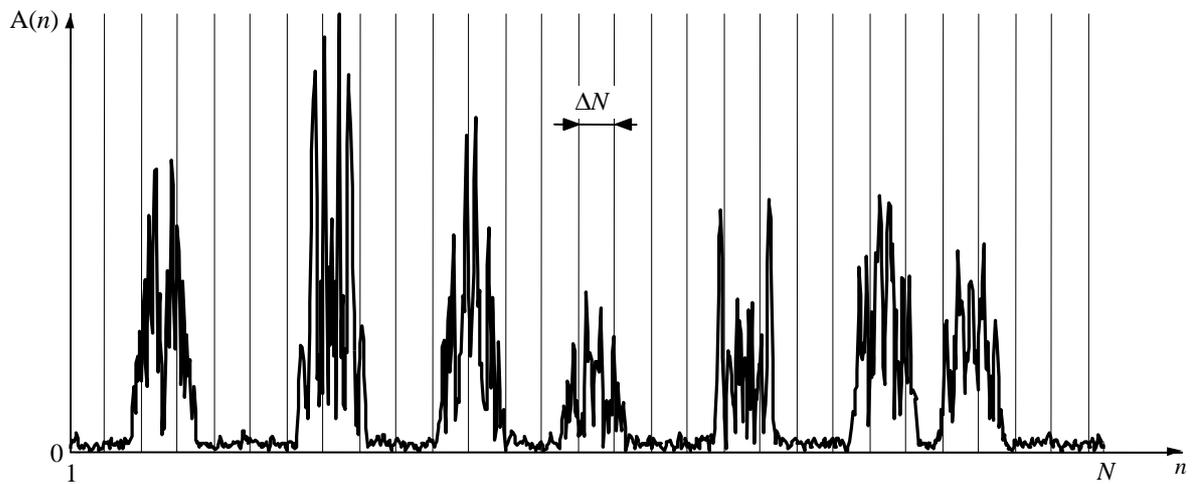


Рис. 4

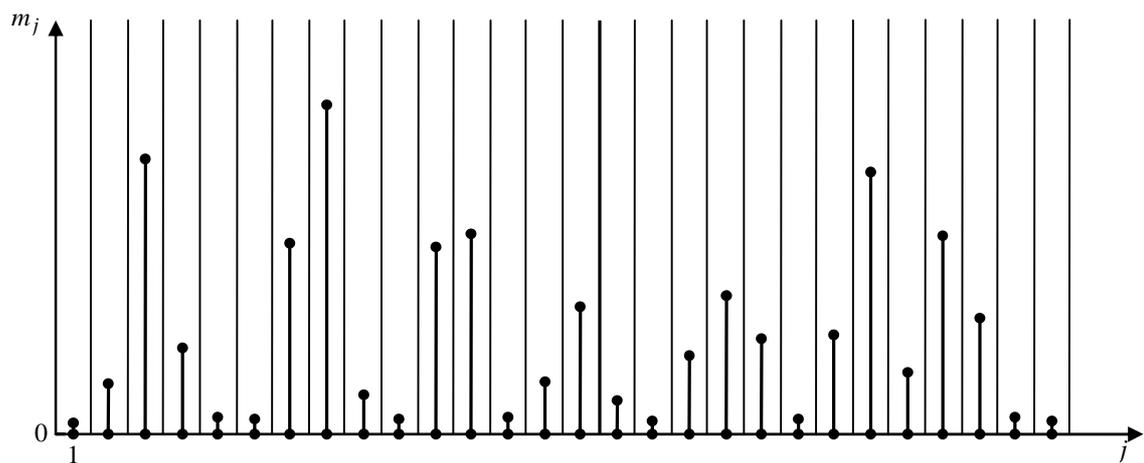


Рис. 5

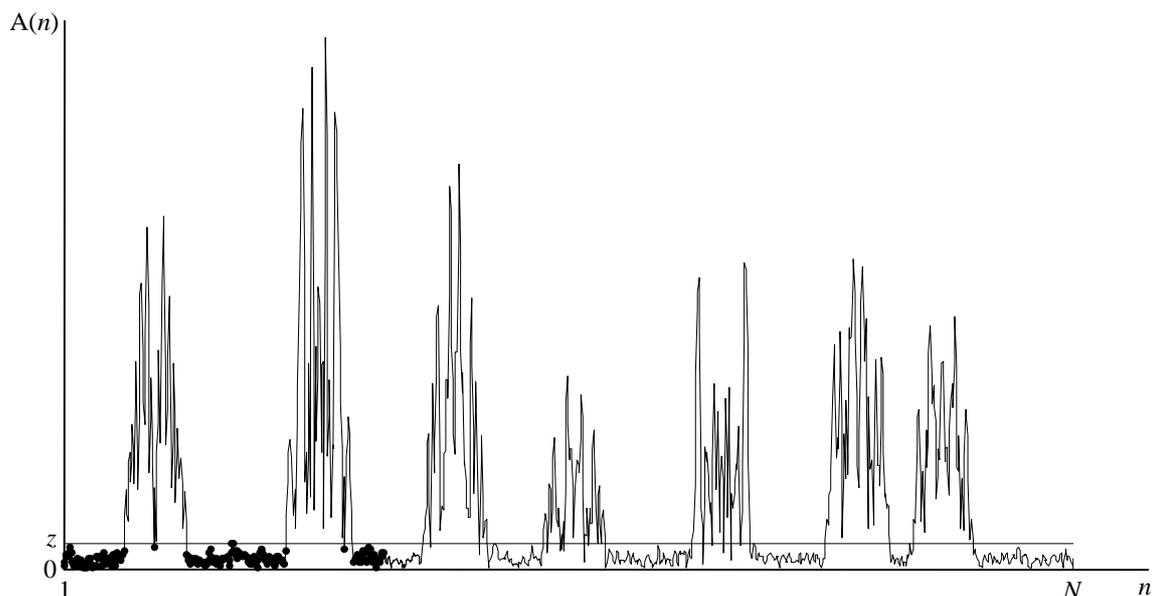


Рис. 6

Коэффициент цензурирования  $M$  в п. 4 определяется исходя из распределения ЧОНВ по закону Рэля:  $M = 2.147 / \bar{m}_i$ , где  $\bar{m}_i$  – математическое ожидание  $i$ -го значения в сортировке по п. 3 при шуме с единичной дисперсией,  $\eta = 1$  и при  $q = 0$ . В данном случае математическое ожидание  $\bar{m}_i$  определялось экспериментально методом статистического моделирования по 100 000 реализаций ЧОНВ. Коэффициент цензурирования  $M$ , определенный таким образом, обеспечивает неперевышение порога цензурирования практически всеми 99 % шумовых ЧОНВ, по которым определяется уровень шума.

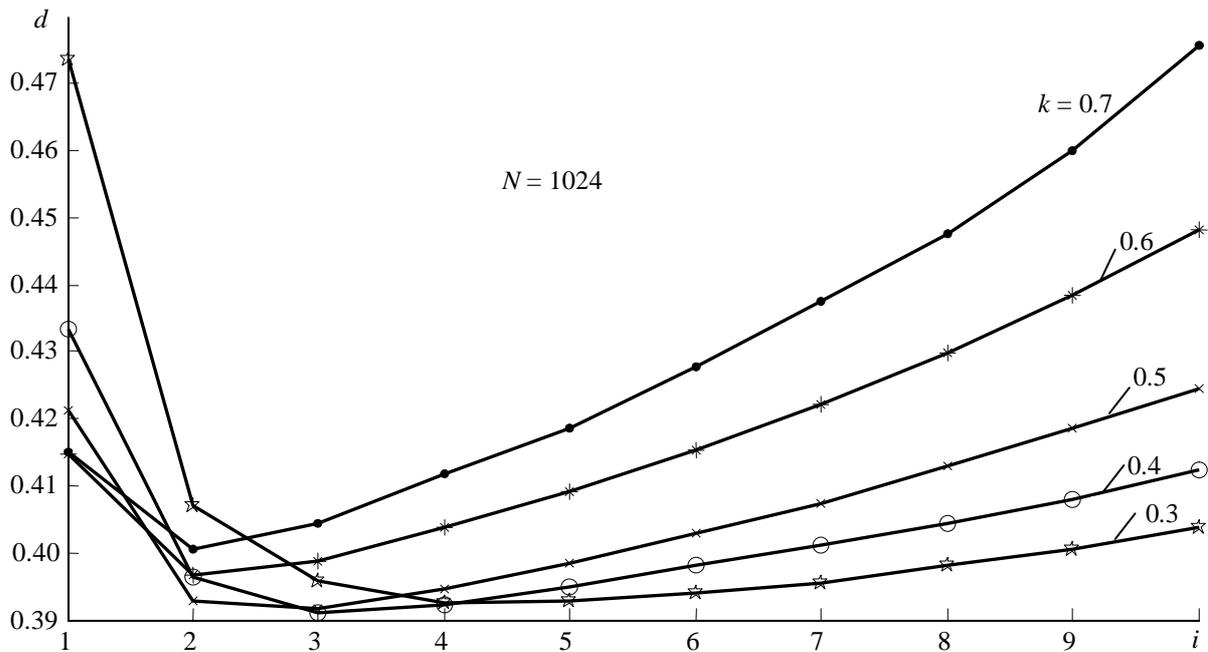


Рис. 7

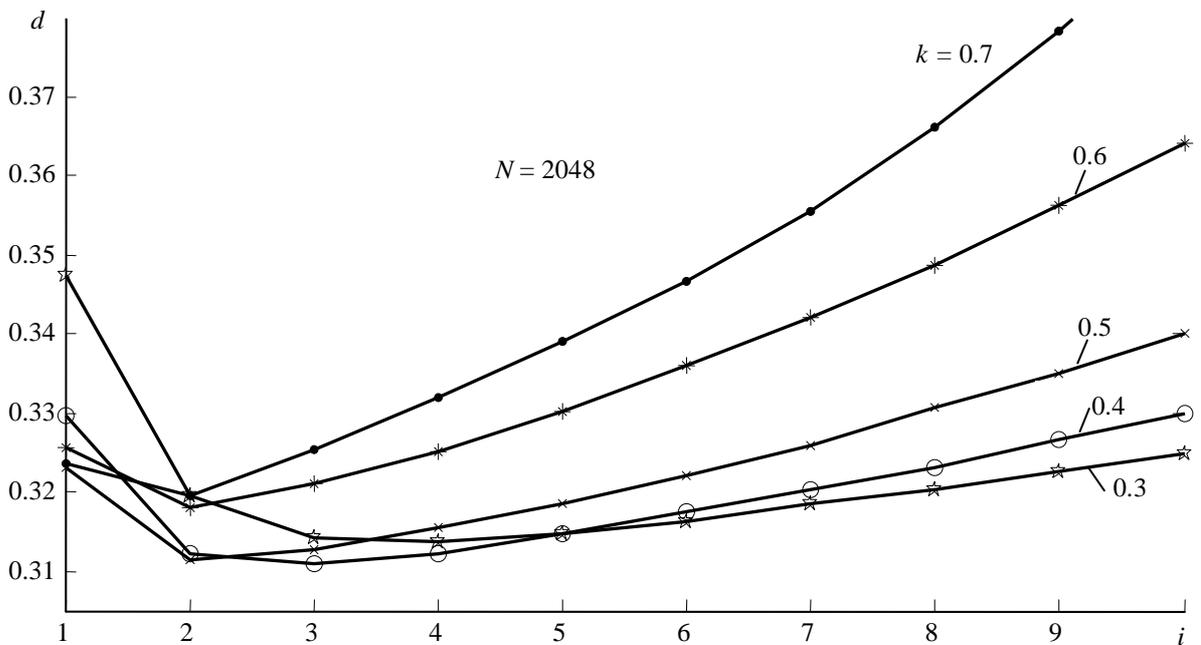


Рис. 8

В п. 6  $K$  – коэффициент пропорциональности между медианой шумовых ЧОНВ, распределенных по закону Рэля, и СКО гауссовского шума.

Определение наилучших по выбранному критерию (минимума  $d$ , см. рис. 3) ширины интервалов  $\Delta N$  (п. 1) и номера  $i$  в сортировке (п. 4) проводилось методом статистического моделирования (рис. 7 и 8) при следующих условиях:

- ширина просматриваемого ЧД  $f = 100$  кГц; полоса сигналов  $\Delta f = 3$  кГц;
- сигналы ФМ-2 2400 бод, амплитуда сигналов распределена по закону Рэлея, среднее значение отношения мощности сигналов к мощности шума в полосе 3 кГц 25 дБ, сигналы не перекрываются по частоте;
- шум белый гауссовский;
- $q = 0$  и  $q = q_{\max} = 0.6$ ;
- $N = 1024$  и  $N = 2048$ ;
- $\Delta N = k \frac{N \Delta f}{f}$ , где  $k$  – относительная ширина интервалов ( $k \in \{0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7\}$ );
- $i = 1 \dots 10$ ;
- 10 000 реализаций сигнально-помеховой обстановки для каждого  $i, k$  и  $q$ .

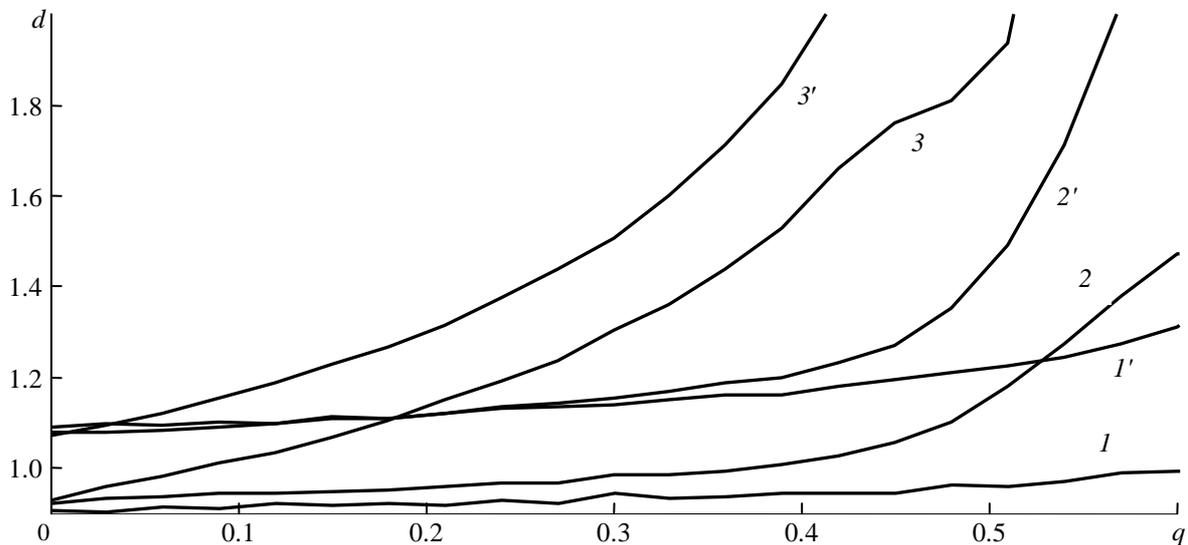


Рис. 9

Из рис. 7 и 8 видно, что одним из наименьших доверительных интервалов  $d$  обладает оценка при  $i = 3$ ,  $k = 0.5$ , т. е. когда просматриваемый частотный диапазон разбивается на интервалы, соответствующие половине полосы сигналов, а порог цензурирования определяется третьим по величине средним значением отсчетов каждого интервала. Зависимость доверительного интервала от ЗЧД для рекомендуемой оценки при  $i = 3$ ,  $k = 0.5$  и для используемых оценок представлена на рис. 9: ( $1-1'$ ) – границы доверительного интервала для рекомендуемой оценки; ( $2-2'$ ) – для цензурированной медианы; ( $3-3'$ ) – для медианы. Увеличение объема наблюдаемой выборки  $N$  ведет к уменьшению СКО оценки, так как в этом случае в п. 5 определяется медиана по большему числу отсчетов.

Значения  $M$ ,  $i$ ,  $k$  были определены при  $f = 100$  кГц,  $\Delta f = 3$  кГц, при отношении ширины просматриваемого ЧД к средней полосе сигналов  $\Delta f / f = 3/100$ . При других отношениях  $\Delta f / f$  ширина интервалов  $\Delta N$  принима-

Константа		$\Delta f / f$					
		1/100	2/100	3/100	5/100	10/100	20/100
$i$		16	6	3	1	1	1
$M$	$N = 512$	6.15	4.76	4.62	4.38	3.41	2.94
	$N = 1024$	4.43	3.89	3.71	3.66	3.06	2.77
	$N = 2048$	3.70	3.37	3.26	3.18	2.85	2.66

лась соответствующей половине средней полосы сигналов  $\Delta f$ , т. е.  $k = 0.5$ , а полученные методом статистического моделирования оптимальные по принятому критерию (минимума  $d$ , см. рис. 3)  $i$  и соответствующие  $M$  представлены в таблице.

При расчете рекомендуемой оценки в п. 4 можно получить оценку ЗЧД как долю ЧОНВ, превысивших порог цензурирования. Следует отметить, что по количеству вычислительных операций данная оценка уровня шума соизмерима с используемыми, так как для определения среднего ЧОНВ каждого интервала требуется меньше вычислительных операций, чем для сортировки ЧОНВ всего просматриваемого ЧД.

*A. O. Chemarov*

#### **ROBUST NOISE LEVEL ESTIMATION FOR RADIOMONITORING SYSTEMS**

*For radio monitoring the new robust to scanned frequency band occupancy method of noise level estimation is proposed. By statistical modeling the dependence of proposed estimation confidence interval to scanned frequency band occupancy is obtained.*

**Radiomonitoring, noise level estimation, robust estimation, frequency band occupancy, confidence interval**

УДК 621.383.7

*Н. Е. Пилипко, А. Е. Рычажников*

### **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КМОП-ФОТОПРИЕМНИКА В РЕЖИМЕ БЕГУЩЕГО ЭЛЕКТРОННОГО ЗАТВОРА**

*Проанализированы принципы построения и связанные с этим особенности функционирования твердотельного фотоэлектрического преобразователя на основе технологии КМОП. Подробно проанализированы, математически обоснованы и объяснены основные эффекты, возникающие при наблюдении динамических сюжетов с помощью КМОП-фотодатчика.*

**КМОП-сенсор, фотоэлектрический преобразователь, бегущий затвор, геометрические искажения, наблюдение движущихся объектов**

Современные ТВ-системы строятся на основе использования принципа накопления, который, в отличие от принципа работы систем мгновенного действия, использует большую часть светового потока. Это резко повышает чувствительность, однако приводит к определенным проблемам при передаче быстро движущихся объектов. В твердотельных фотоэлектрических преобразователях (ФЭП) для решения этой проблемы широко используют метод, основанный на управлении временем накопления при помощи режима быстродействующего электронного затвора (High Speed Electronic Shutter).

Обычно временем накопления управляют за счет сброса накопленных в фотодиодах зарядовых пакетов в стоковую область, расположенную под светочувствительным элементом в подложке. Далее процесс накопления начинается заново и, соответственно, время накопления уменьшается.

Возникновение динамического смаза обусловлено тем, что за время накопления, равное времени кадра или поля, объект успевает изменить свое положение. Уменьшая время накопления можно уменьшить величину смаза, однако при этом пропорционально падает чувствительность.

В приборах зарядовой связи (ПЗС) временем накопления управляют периодическим сбросом избыточных зарядовых пакетов с помощью механизма антиблоринга. Данный механизм подробно описан в [1], [2], поэтому не будем на нем останавливаться.

Рассмотрим реализацию режима быстродействующего электронного затвора в КМОП-сенсорах. В подавляющем большинстве современных КМОП-сенсоров нет секции видеопамати на целый кадр. Их функционирование связано с применением так называемого бегущего электронного затвора (Rolling Shutter). Рассмотрим реализацию считывания в таком КМОП-сенсоре.

КМОП-сенсоры в своем развитии прошли целый ряд этапов [3], [4] с присущими каждому из них особенностями, однако на данный момент самыми распространенными в мире являются КМОП-сенсоры с так называемым активным пикселем.

Структура активного пикселя изображена на рис. 1, а диаграммы его работы – на рис. 2. Фоточувствительным элементом является обратносмещенный фотодиод (область с легированием  $n$ -типа, размещенная на кремниевой подложке  $p$ -типа). Транзистор  $VT1$  служит для периодического сброса накопленного заряда из фотодиода.

На рис. 2, а приведены диаграммы сигнала RS (Row Select, выбор строки). При формировании данного сигнала транзистор  $VT3$  подключает выход истокового повторителя (транзистора  $VT2$ ) к вертикальной видеошине и, соответственно, к аналоговому мультиплексу, подающему видеосигнал  $U_s$  на выход, т. е. активный уровень сигнала RS соответствует моменту считывания видеосигнала.

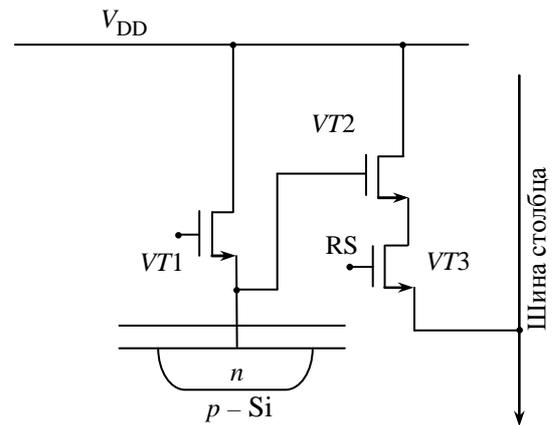


Рис. 1

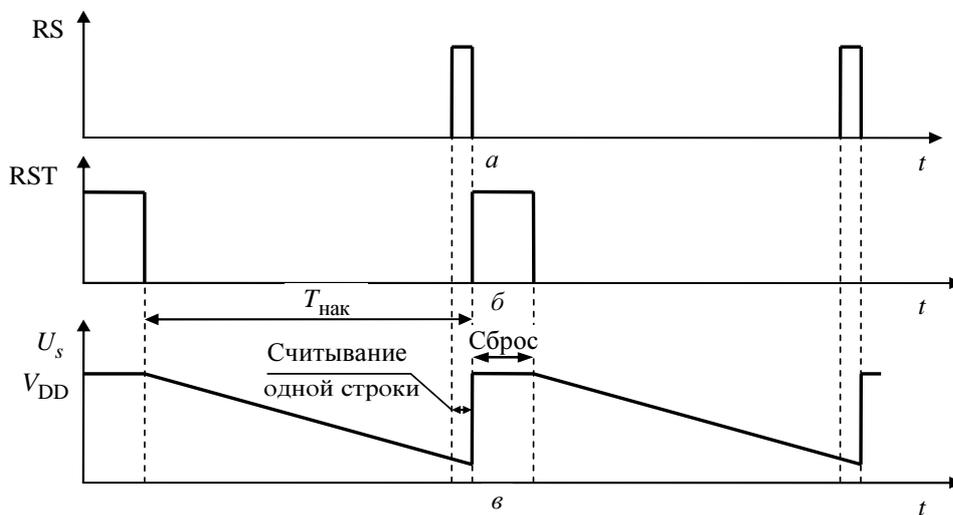


Рис. 2

На рис. 2, б приведены временные диаграммы сигнала RST (Reset, сброс). Данный сигнал предназначен для сброса потенциала фотодиода до напряжения питания. Во время действия импульса RST обратносмещенный фотодиод оказывается подключенным к потенциалу питания и его емкость заряжается до потенциала  $V_{DD}$  (рис. 2, в). Далее под действием светового потока емкость фотодиода разряжается пропорционально падающему световому потоку (рис. 2, в). По сигналу RS производится считывание, после чего следует очередной сброс строки.

Таким образом, время накопления  $T_{\text{нак}}$  в данном пикселе начинается после того, как была считана предыдущая строка. Так как все строки сдвинуты друг относительно друга соответственно на время строки, то и времена накопления в разных строках сдвинуты друг относительно друга на время строки (рис. 3).

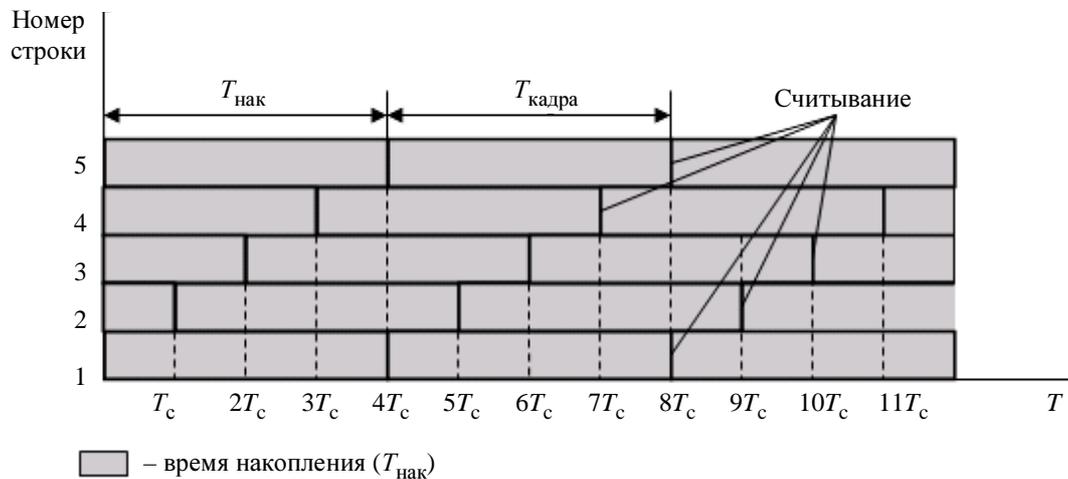


Рис. 3

Считывание различных строк происходит в разное время и приводит к геометрическим искажениям движущихся объектов. Представленный на рис. 3 пример приведен для сенсора, состоящего из пяти строк.

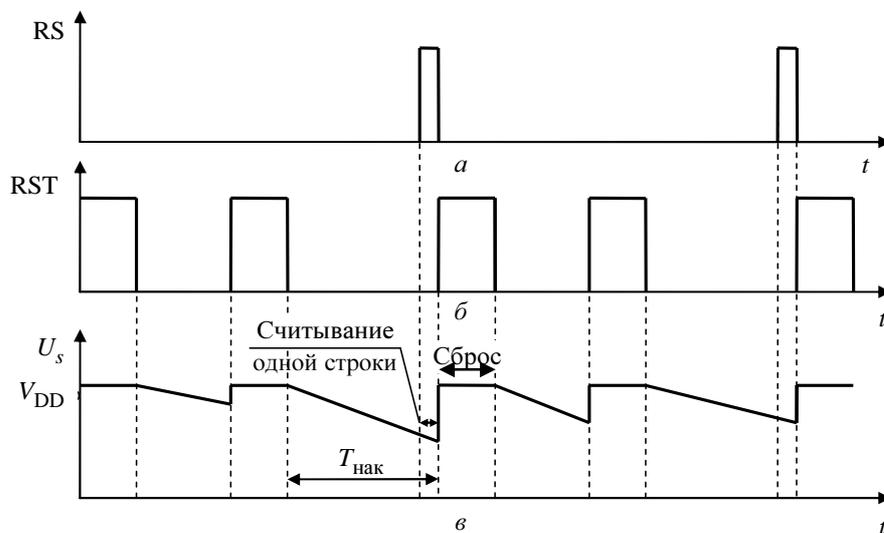


Рис. 4

При включении режима быстродействующего электронного затвора диаграмма сигнала управления сбросом фотодиода изменяется (рис. 4, б).

На транзистор сброса подается дополнительный сигнал сброса и время накопления уменьшается (рис. 4, в). Временная диаграмма сигнала считывания остается неизменной (рис. 4, а).

Считывание различных строк также производится в различное время, но интервал накопления уменьшается (рис. 5).

Таким образом, время кадра будет зависеть от суммы времен накопления и считывания, что принципиально отличается от реализации режима электронного затвора в матричных ПЗС.

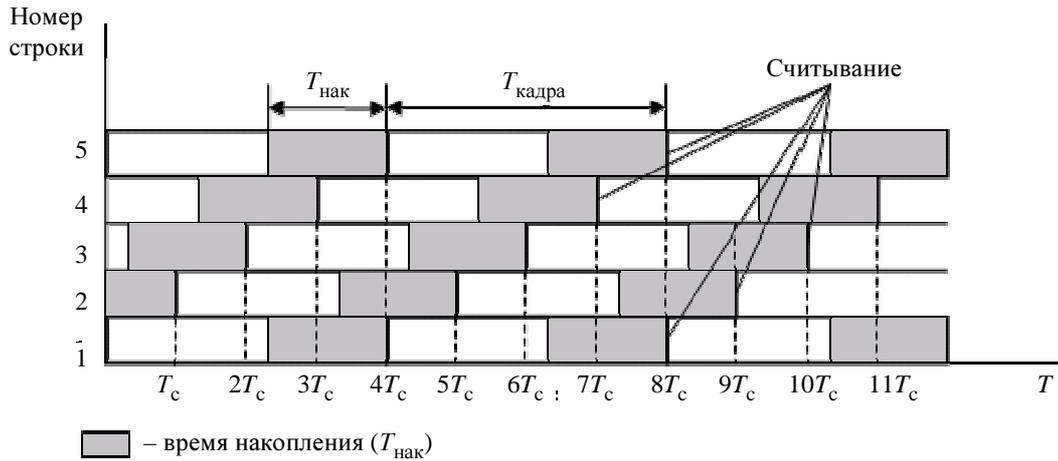


Рис. 5

**Анализ геометрических искажений, возникающих при панорамировании или при наблюдении крупноразмерных движущихся объектов с помощью КМОП-сенсора.** Для объяснения эффектов геометрических искажений, возникающих при наблюдении динамических сюжетов с помощью КМОП-сенсора, построим математическую модель наблюдения некоего крупноразмерного движущегося объекта. Под крупноразмерным объектом будем понимать объект, размеры которого существенно превышают размер пикселя. В качестве объекта выбираем прямоугольник с равномерной яркостью по всей поверхности на контрастном темном фоне (рис. 6).

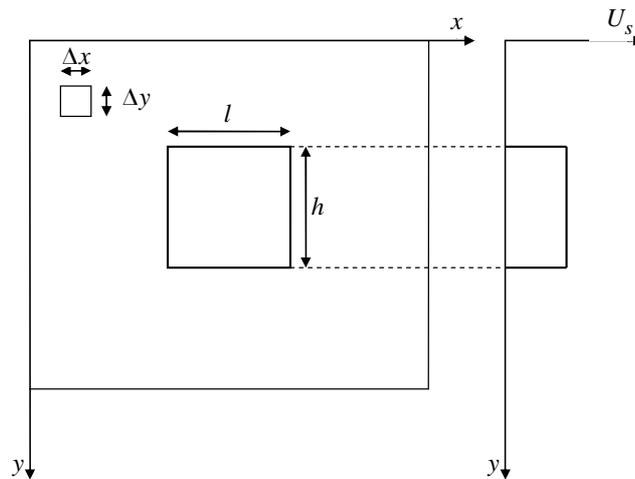


Рис. 6

Размеры объекта: по вертикали –  $h$ , по горизонтали –  $l$ . Пиксель имеет размеры  $\Delta x$  на  $\Delta y$ , причем  $h \gg \Delta x$  и  $l \gg \Delta y$ .

Движение объекта может быть как равномерным, так и неравномерным. Однако в пределах одного кадра будем считать его равномерным, так как длительность кадра невелика и скорость за этот период не может сильно измениться. Относительно скорости движения объекта можно выделить 3 случая: движение со скоростью ниже скорости считывания, движение со скоростью считывания и движение со скоростью выше скорости считывания.

Последний случай характерен только при наблюдении особо быстро движущихся объектов, при этом время нахождения объекта в кадре очень мало, что не представляет особого интереса, так же как и движение со скоростью считывания, что весьма маловероятно. В этом случае в каждой строке будет считываться один и тот же сигнал.

Таким образом, имеет смысл рассматривать движение объекта со скоростью ниже скорости считывания как наиболее распространенное явление.

Обозначим скорость движения объекта  $v_h$ , а скорость считывания (сброса)  $v_H = \Delta y / T_c$ , где  $T_c$  – длительность строки,  $\Delta y$  – расстояние между строками ( $v_H > v_h$ ). Выделим следующие направления движения: по вертикали и по горизонтали. При движении объекта вниз его скорость относительно считывания будет равна  $v_H - v_h$ . При движении объекта вверх его скорость относительно считывания будет равна  $v_H + v_h$ .

Таким образом, можно выделить следующие направления движения объекта: вниз, вверх и по горизонтали в произвольном направлении. Рассмотрим их по очереди для нескольких режимов работы КМОП-сенсоров с «бегущим» считыванием, в том числе с реализацией «бегущего» электронного затвора.

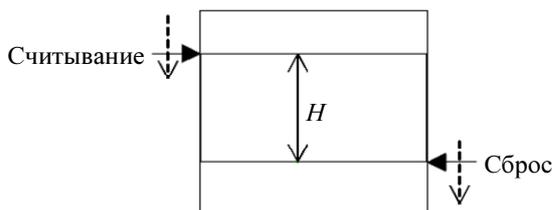


Рис. 7

Для облегчения расчетов введем величину  $H$ , которая обозначает расстояние между сбросом и считыванием. Принцип сканирования КМОП-сенсора в режиме «бегущего» электронного затвора показан на рис. 7. Можно записать:

$$H = n\Delta y; \quad n = T_{\text{нак}} / T_c,$$

где  $\Delta y$  – расстояние между строками, а  $n$  – коэффициент отношения времени накопления кадра ко времени считывания строки.

Для режима «бегущего» считывания  $T_{\text{нак}} = T_{\text{кадра}}$ . Для режима «бегущего» затвора  $T_{\text{нак}}$  выбирается произвольно меньшим времени кадра, но пропорциональным времени строки. Далее, разобьем все ранее указанные варианты еще на 2 случая:  $H > h$  и  $H < h$ .

Таким образом, должны быть рассмотрены следующие комбинации режимов работы КМОП-сенсора и параметров движения объекта:

- движение объекта вниз для «бегущего» и «глобального» затвора и считывания при условиях  $H > h$  и  $H < h$ ;
- движение объекта вверх для «бегущего» и «глобального» затвора и считывания при условиях  $H > h$  и  $H < h$ ;
- движение объекта по горизонтали для «бегущего» и «глобального» затвора и считывания при условиях  $H > h$  и  $H < h$ .

Рассмотрим все эти случаи последовательно.

**Анализ искажений изображений объектов, движущихся вниз в вертикальном направлении в режиме «бегущего» считывания.** Искажения при движении объекта вверх и вниз будут различаться, что обуславливает необходимость рассмотрения их по отдельности.

Сначала рассмотрим случай  $H > h$ .

На рис. 6 изображены характерные моменты движения интервала сброса-считывания относительно изображения движущегося объекта. При выводе выражений считаем, что объект неподвижен, а относительная скорость движения интервала составляет  $v_H - v_h$ .

Диаграммы положения процессов считывания и сброса относительно объекта, движущегося вниз, показаны на рис. 8.

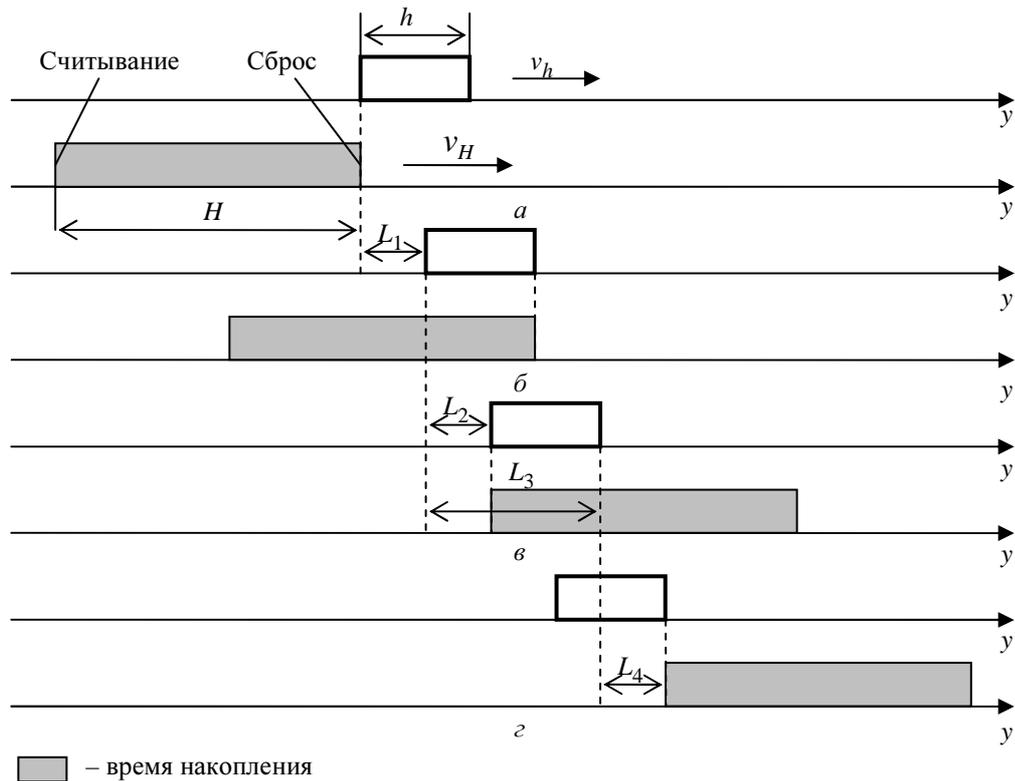


Рис. 8

На рис. 8, а показан момент времени, когда сброс догнал верхний край объекта. Данное положение по времени будем считать начальным ( $T = 0$ ). Следующее положение объекта (рис. 8, б) соответствует моменту, когда сброс догнал нижний край объекта. Этот момент наступит через интервал времени  $\Delta T_1 = h / (v_H - v_h)$ . За это время объект сместился на расстояние

$$L_1 = \frac{v_h}{v_H - v_h} h. \quad (1)$$

В это время происходит линейное нарастание видеосигнала, поскольку время накопления в указанных строках оказывается нарастающим. В следующий момент (рис. 8, в) считывание за временной интервал  $\Delta T_2$  догнало верхний край объекта. Длительность интервала  $\Delta T_2 = (H - h) / (v_H - v_h)$ .

Смещение объекта за это время составит  $L_2 = [v_h / (v_H - v_h)] (H - h)$ .

В результате сформируется участок, на котором видеосигнал остается неизменным:

$$L_3 = \frac{v_h}{v_H - v_h} (H - h) + h. \quad (2)$$

Далее, за время  $\Delta T_3$  объект пройдет расстояние  $L_4$ , равное  $L_1$ , и видеосигнал снова линейно уменьшится до нуля (рис. 8, з),  $\Delta T_3 = h / (v_H - v_h)$ .

Интервал, пройденный за это время изображением, будет иметь длительность  $L_4 = v_h / (v_H - v_h) h$ .

Таким образом, значение видеосигнала в вертикальном направлении будет иметь трапецеидальную форму с фронтами, определяемыми выражением (1). Плоская часть видеосигнала при движении изображения вниз удлинится, и данное удлинение будет описываться выражением (2).

Далее рассмотрим случай  $H < h$ , что соответствует режиму электронного затвора с малым временем накопления.

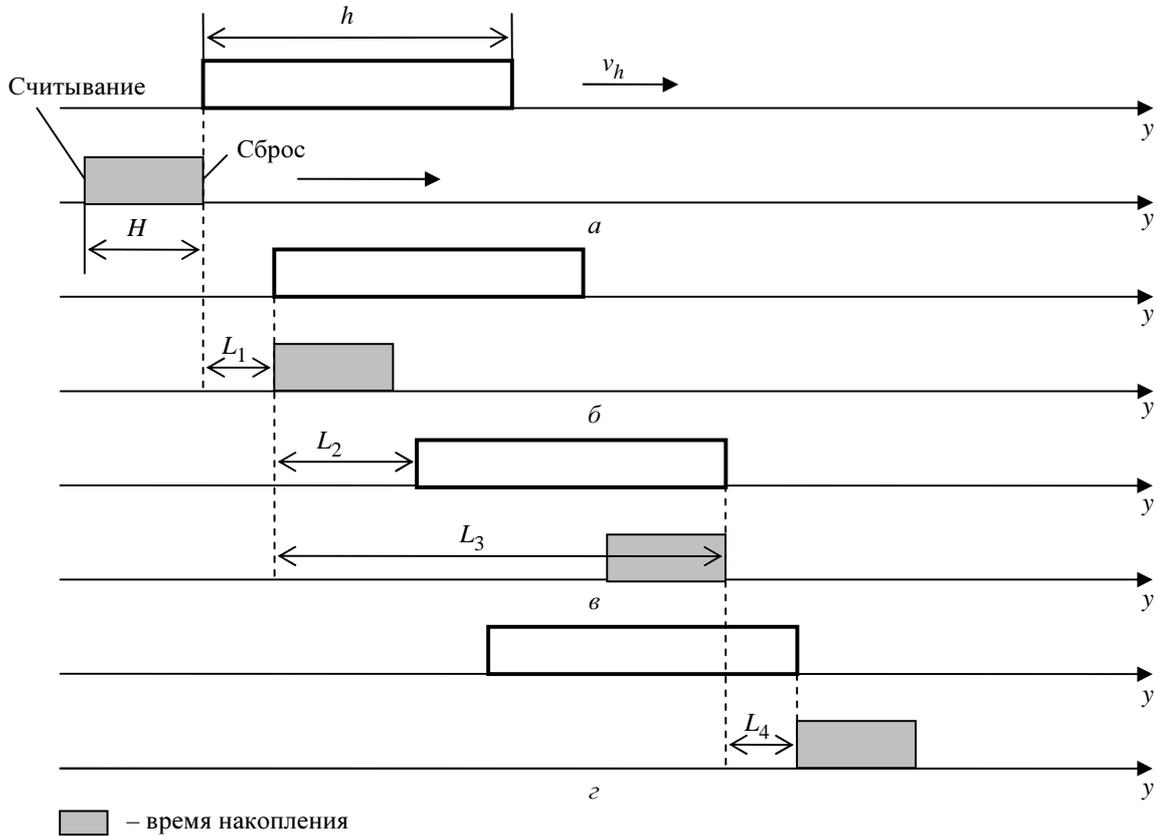


Рис. 9

На рис. 9 изображены характерные моменты движения интервала сброса-считывания относительно движущегося объекта. Начальная точка, соответствующая нулевому моменту времени, – сброс догнал верхний край объекта (рис. 9, а),  $T = 0$ . Считывание догонит верхнюю границу объекта за время  $\Delta T_1 = H / (v_H - v_h)$ , а объект пройдет за это время расстояние (рис. 9, б)

$$L_1 = H v_h / (v_H - v_h). \quad (3)$$

В этом промежутке времени происходит линейное нарастание видеосигнала. В следующий момент времени (рис. 9, в) считывание догнало верхний край объекта,  $\Delta T_2 = (h - H) / (v_H - v_h)$ .

Пройденное при этом расстояние  $L_2 = [v_h / (v_H - v_h)] (h - H)$ .

Видеосигнал остается неизменным на протяжении интервала

$$L_3 = [v_h / (v_H - v_h)] (h - H) + h. \quad (4)$$

За время  $\Delta T_3 = H / (v_H - v_h)$  объект пройдет расстояние  $L_4 = H v_h / (v_H - v_h)$  (рис. 9, г) и видеосигнал линейно уменьшится до нуля.

Таким образом, изображение, оставленное движущимся вниз объектом, будет иметь полную высоту  $L = L_1 + L_3 + L_4$ . Передний и задний фронты окажутся размытыми с длительностью, определяемой интервалами  $L_1$  и  $L_4$ , равными друг другу и вычисляемыми по выражению (3). Плоская часть видеосигнала определяется интервалом  $L_3$  и может быть найдена из выражения (4).

Таким образом, при работе в режимах «бегущее» считывание и «бегущий» электронный затвор изображение будет размыто симметрично сверху и снизу, причем ширина переднего и заднего фронтов  $L_1 = L_4 = hv_h / (v_H - v_h)$  для случая  $H > h$  и  $L_1 = L_4 = Hv_h / (v_H - v_h)$  для случая  $h > H$  (рис. 10).

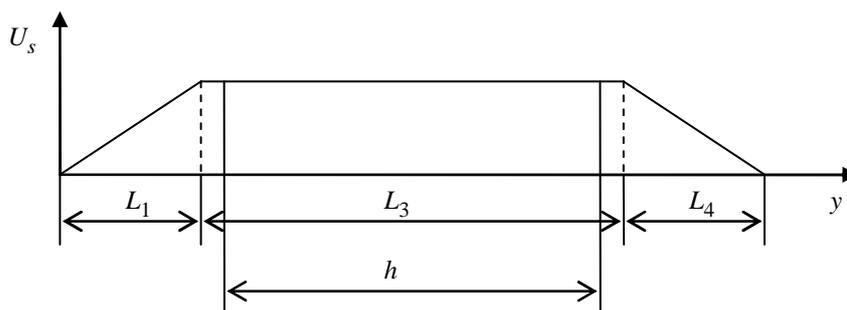


Рис. 10

Плоская часть объекта удлинится до  $L_3 > h$  – реальной высоты объекта. Полученные выражения (1)–(4) позволяют рассчитать геометрические искажения объекта при движении его по вертикали с различными временами накопления и скоростями движения объекта.

**Анализ искажений изображений объектов, движущихся вверх.** Рассмотрим объект, движущийся в направлении, противоположном считыванию. В данном случае это будет объект, движущийся вверх. При этом искажения изображения будут отличаться от предыдущего случая. Так же, как и ранее, рассмотрим 2 случая.

На рис. 11, а (случай  $H > h$ ) показан момент времени, когда сброс догнал верхний край объекта. Данный момент времени принят за нулевой.

Следующее положение объекта (рис. 11, б) соответствует моменту времени, когда сброс догнал нижний край объекта. Этот момент наступает через интервал времени  $\Delta T_1 = h / (v_H + v_h)$ .

За это время объект сместился на расстояние

$$L_1 = hv_h / (v_H + v_h). \quad (5)$$

На данном интервале происходит линейное нарастание видеосигнала. Таким образом, выражение (5) определяет фронт сигнала. За следующий интервал времени  $\Delta T_2 = (H - h) / (v_H + v_h)$  считывание догнало верхний край объекта (рис. 11, в). Объект сдвинулся на

$$L_2 = (H - h)v_h / (v_H + v_h). \quad (6)$$

На интервале  $L_2$  значение видеосигнала остается неизменным, т. е. формируется его плоская часть.

Далее, за интервал времени  $\Delta T_3 = h/(v_H + v_h)$  объект пройдет расстояние  $L_4 = hv_h/(v_H + v_h)$  и видеосигнал линейно уменьшится до нуля (рис. 11, з). Таким образом, значение  $L_4$ , равное  $L_1$ , определяет второй фронт видеосигнала.

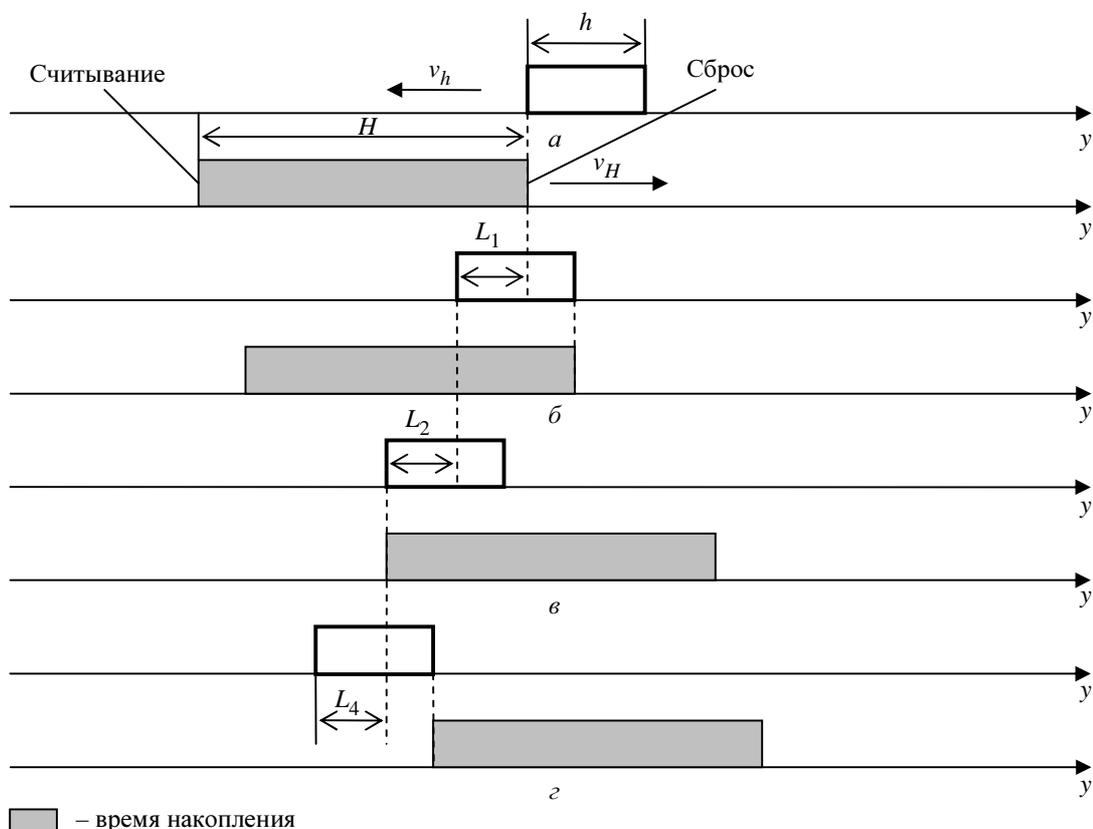


Рис. 11

На рис. 12 приведены диаграммы процессов считывания и сброса относительно объекта, движущегося вверх, для второго случая  $h > H$ .

Начальный момент времени, соответствующий нулю, – сброс догнал верхнюю границу объекта (рис. 12, а).

Следующее положение объекта (рис. 12, б) соответствует моменту, когда сброс догнал нижний край объекта. Этот момент наступает через временной промежуток  $\Delta T_1 = H/(v_H + v_h)$ .

За это время объект сместится на расстояние

$$L_1 = H v_h / (v_H + v_h). \quad (7)$$

На этом интервале происходит линейное нарастание видеосигнала.

За следующий временной интервал  $\Delta T_2 = (h - H)/(v_H + v_h)$  (рис. 10, в) считывание догнало верхний край объекта. Сам объект сдвинулся на

$$L_2 = [v_h / (v_H + v_h)] (h - H). \quad (8)$$

На этом интервале видеосигнал остается неизменным. Далее, за промежуток времени  $\Delta T_3 = H/(v_H + v_h)$  объект пройдет расстояние  $L_4 = H v_h / (v_H + v_h)$  и видеосигнал снова линейно уменьшится до нуля (рис. 12, з).



Следующее положение объекта (рис. 14, б) соответствует моменту, когда сброс догнал нижний край объекта. Этот момент наступает через интервал времени  $\Delta T_1 = H/v_H$ .

За это время объект сместится на расстояние

$$L_1 = H v_h / v_H .$$

На данном интервале видеосигнал линейно нарастает. Далее, за время  $\Delta T_2 = (h - H)/v_H$  считывание догоняет верхний край объекта, и смещение  $L_2 = (v_h/v_H)(h - H)$  (рис. 14, в).

Видеосигнал остается неизменным в течение  $L_3$ :

$$L_3 = (v_h/v_H)(h - H) + l .$$

Далее, за временной интервал  $\Delta T_3 = H/v_H$  объект пройдет расстояние  $L_4 = H v_h / v_H$  и видеосигнал линейно уменьшится до нуля (рис. 14, г).

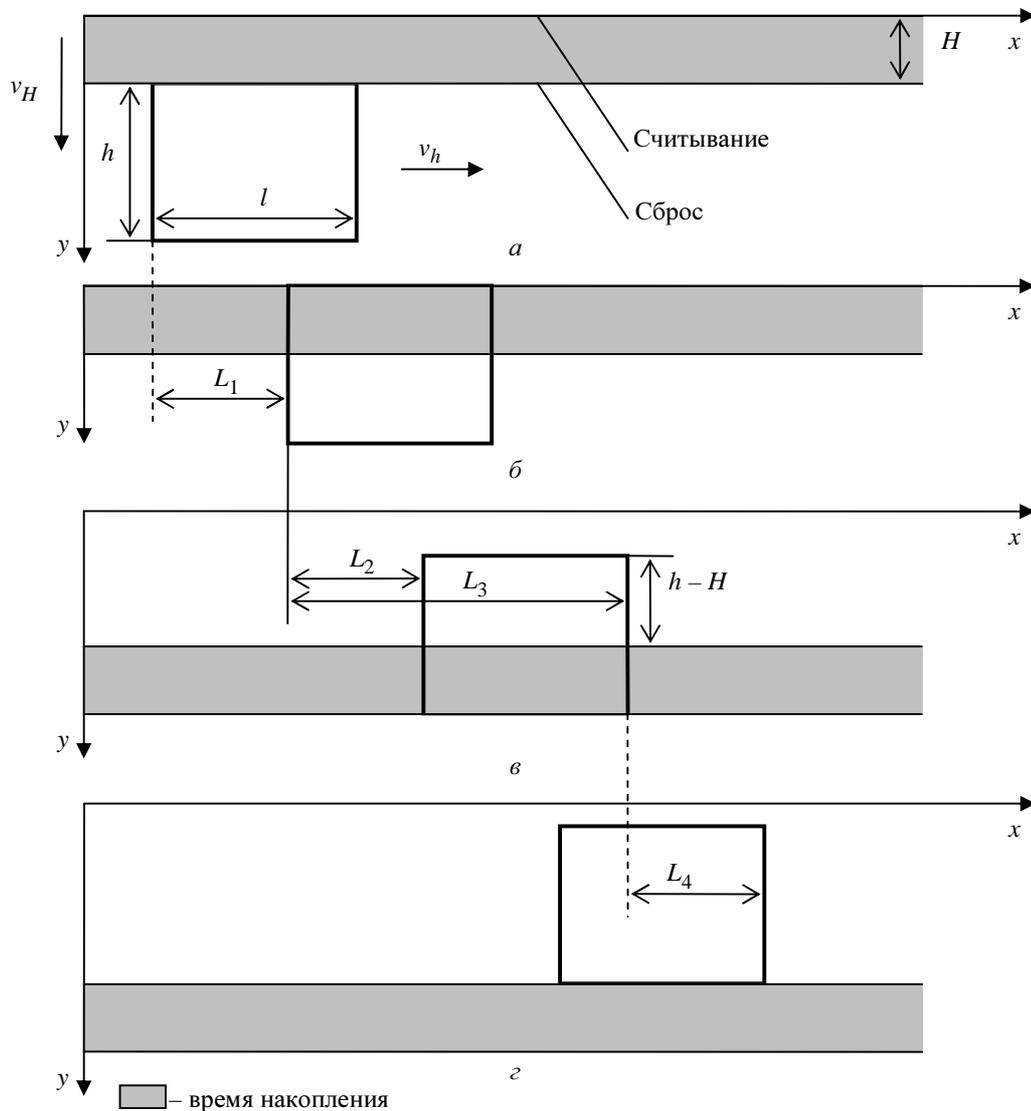


Рис. 14

Рассмотрим второй случай  $H > h$  (рис. 15).

На рис. 15, а показан нулевой, начальный момент времени, когда сброс догнал верхний край объекта.

Следующее положение объекта (рис. 15, б) соответствует моменту, когда сброс догнал нижний край объекта. Этот момент наступает за временной промежуток  $\Delta T_1 = h/v_H$ .

Смещение изображения за это время составит

$$L_1 = hv_h/v_H. \quad (9)$$

На этом интервале происходит линейное нарастание видеосигнала и формируется размазанный фронт на вертикальных границах объекта.

За следующий временной промежуток (рис. 15, в)  $\Delta T_2 = (H-h)/v_H$  считывание догоняет верхний край объекта и сдвигается на  $L_2 = (v_h/v_H)(H-h)$ .

Видеосигнал остается неизменным на интервале

$$L_3 = (v_h/v_H)(H-h) + l. \quad (10)$$

После этого, за время  $\Delta T_3 = h/v_H$  объект пройдет расстояние  $L_4 = hv_h/v_H$  и видеосигнал линейно уменьшится до нуля (рис. 15, г).

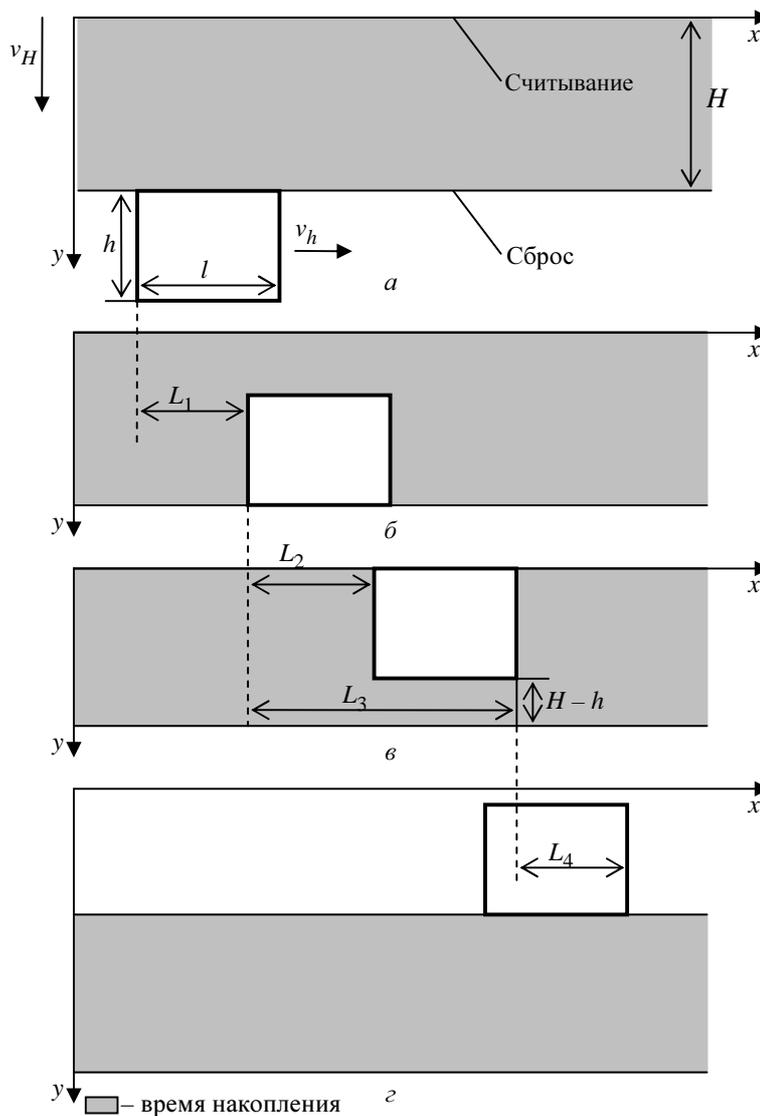


Рис. 15

Таким образом, видеосигнал будет иметь вид, представленный на рис. 16.

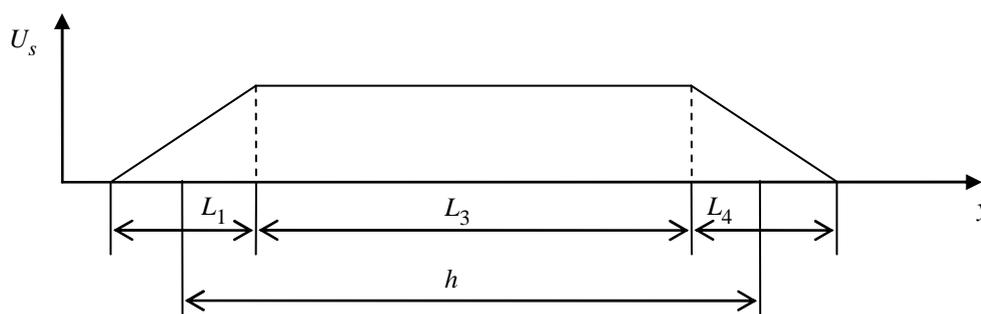


Рис. 16

Передний и задний фронты оказываются размазанными с длительностью, определяемой выражением (9), а плоская часть определяется выражением (10).

Рассмотрим двумерную картину геометрических искажений при движении объекта по горизонтали (рис. 17).

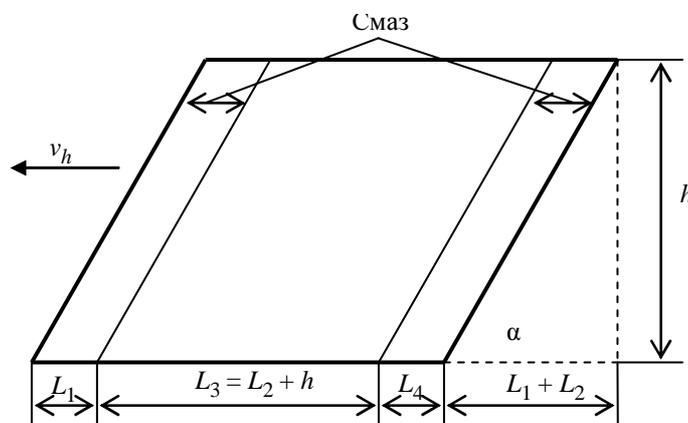


Рис. 17

Отметим, что помимо размазывания, описываемого выражением (9), прямоугольный объект наклоняется и превращается в параллелепипед. При этом угол наклона объекта может быть найден как  $\alpha = \arctg \left[ h / (L_1 + L_2) \right]$ .

Таким образом, разработана математическая модель, объясняющая природу и характер искажений передачи динамических сюжетов ФЭП на основе КМОП-технологии. Данная модель описывает только самый простой вид наблюдаемого движения – равномерное поступательное, для других видов движения можно построить аналогичные зависимости. Особо надо подчеркнуть зависимость уровня искажений от скорости перемещения наблюдаемого объекта относительно светочувствительной поверхности матрицы и времени накопления (см. рис. 7).

**Результаты экспериментальных исследований.** Для проверки теоретических расчетов была поставлена серия опытов с использованием черно-белой цифровой видеокамеры BMR-1340LM-U, построенной на базе матрицы МТ9М001 фирмы «Микрон». Данная камера обладает широким набором регулировок, в том числе времени накопления, усиления, формата кадра, длительности гасящих импульсов по строке и по кадру. Все это позволило провести большое количество измерений и подробно изучить поведение реального КМОП-фотоэлектрического преобразователя с активным пикселем. В качестве наблюдаемой мишени был использован лист бумаги с нанесенным контрастным изображением – белые вертикальные и горизонтальные полосы, а также белый квадрат на черном фоне.

Эксперимент полностью подтвердил теоретические расчеты. Характерные примеры работы камеры в режимах «бегущего» затвора и «бегущего» считывания можно наблюдать на рис. 18.

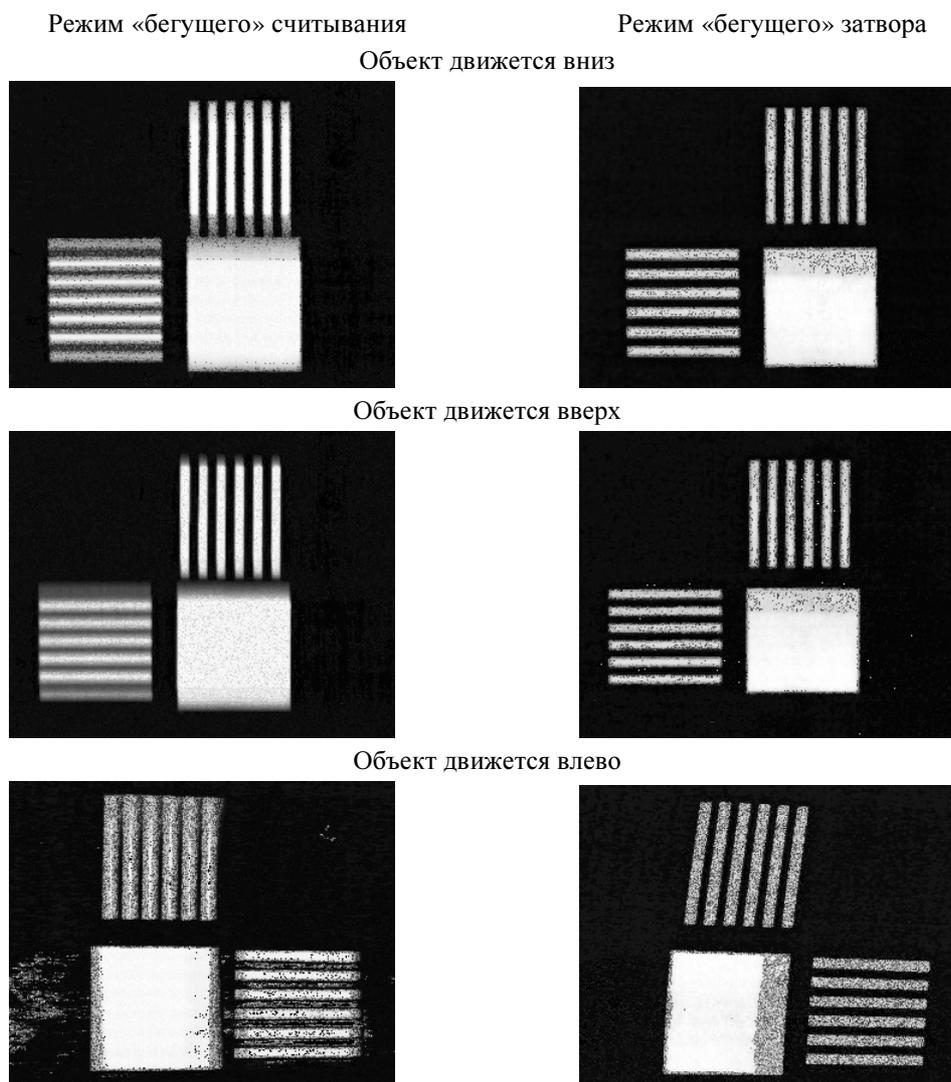


Рис. 18

При движении мишени вниз наблюдаемый объект растягивался по вертикали (это заметно по изменению соотношений сторон квадрата и длин вертикальных и горизонтальных полос), а при движении мишени вверх изображение соответственно сжималось.

Искажения при горизонтальном движении также полностью соответствуют расчетным.

Таким образом, можно сделать вывод о принципиальной правильности разработанной математической модели искажений передачи динамических сюжетов. Наблюдаемые искажения представляют собой сочетание динамического смаза и искажения формы наблюдаемого объекта, что полностью согласуется с теоретическими предположениями.

**Выводы:**

1. Наиболее распространенные на данный момент в мире КМОП-фотоприемники с активным пикселем подвержены геометрическим искажениям при передаче динамических сюжетов. При этом искажения складываются из суперпозиции динамического смаза и геометрического искажения формы наблюдаемого объекта.

2. Причиной динамического смаза является инерционность процесса накопления в КМОП-сенсоре, что совершенно аналогично механизму его образования в ПЗС.

3. Причиной геометрических искажений является отсутствие памяти на кадр и неодновременность процесса накопления различных строк в большинстве современных фотоэлектрических преобразователей на основе КМОП-технологии.

4. Уровень искажений прямо зависит от скорости перемещения наблюдаемого объекта относительно фотоприемника и соотношения времени накопления каждой строки в фоточувствительном массиве и времени ее считывания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков Р. Е., Сигалов В. М., Эйссенгардт Г. А. Телевидение: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1988.
2. Цифровое преобразование изображений: Учеб. пособие для вузов / Р. Е. Быков, Р. Фрайер, К. В. Иванов и др. М.: Горячая линия- Телеком, 2003.
3. Манцетов А. А., Цыцулин А. К. Телекамеры на КМОП-фотоприемниках // Вопросы радиоэлектроники. СПб.: ФГУП НИИТ, 2006. С. 70–89.
4. Твердотельная революция в телевидении: Телевизионные системы на основе приборов с зарядовой связью, систем на кристалле и видеосистем на кристалле/ В. В. Березин, А. А. Умбиталиев, Ш. С. Фахми и др. М.: Радио и связь, 2006.

*N. E. Pilipko, A. E. Rytchazhnikov*

#### *A CMOS-SENSORS WORK FEATURES IN THE ROLLING SHUTTER MODE*

*Principles of construction and the features of functioning of the solid-state photo-electric converter produced on the basis of CMOS technology are analyzed. The main effects arising during the imaging of dynamic scenes by CMOS sensors with active pixel are proved and explained.*

**CMOS Image sensor, solid-state photo-electric converter, rolling shutter, image distortions, imaging of the dynamic scenes**



УДК 534.26+620.179.16

*А. В. Теплякова*

## **ДИФРАКЦИЯ НА КОНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРОЙ**

*Получено и проанализировано решение задачи дифракции плоских упругих волн на конечной системе цилиндрических включений в твердой среде. На части границы каждого цилиндрического включения наблюдается нарушение адгезии в приближении «линейного скольжения». Расположение цилиндров в пространстве произвольное и их размеры в общем случае различны.*

**Адгезия, неразрушающий контроль, цилиндрическая неоднородность, дифракция, разделение переменных**

Интерпретация результатов ультразвукового неразрушающего контроля во многом зависит от правильности выбора подходящей замещающей модели при теоретическом исследовании взаимодействия упругих волн с неоднородностями материала. Для того чтобы верно определить не только наличие и геометрические размеры дефекта, но и его внутреннюю структуру, нужны более точные теоретические данные о взаимодействии волн с различными моделями, наиболее точно характеризующими свойства реально существующих неоднородностей материала.

Рассмотрим общий случай рассеяния плоской продольной волны на системе из конечного числа  $N$  бесконечно длинных упругих цилиндров, продольные оси которых параллельны между собой. Расположение цилиндров в пространстве произвольное и их размеры в общем случае различны. На части поверхности каждого цилиндра, ограниченной двумя образующими, наблюдается нарушение адгезионной связи в приближении «линейного скольжения». Это нарушение адгезии, как известно, можно моделировать кольцевым слоем бесконечно малой толщины. Обобщенная структурированная модель системы из конечного числа цилиндрических неоднородностей с нарушением адгезии на части поверхности представлена на рис. 1 в виде цилиндров, находящихся в незамкнутых кольцевых слоях бесконечно малой толщины. Расположение и угол раскрытия кольцевого слоя на каждом цилиндре произвольные.

Рассматривался случай рассеяния на такой модели в упругой среде нормально падающей плоской продольной волны, описываемой потенциалом смещения  $\Phi_{\text{пад}}$ . Нарушение адгезионной связи на искривленных поверхностях цилиндров количественно характеризуется введением модулей контактных жесткостей  $KGN$  и  $KGT$ , ответственных за передачу упругих смещений соответственно в нормальном и тангенциальном направлениях по отношению к границе. Количественное изменение  $KGN$  и  $KGT$  в пределах  $10^{17} \dots 10^{12}$  Н/м<sup>3</sup> имитирует переход от условий «жесткой» связи к условиям «свободной» границы.

Вводится прямоугольная система координат [1] так, чтобы ось  $Oz$  была параллельна осям цилиндров (рис. 1). С каждым цилиндром с порядковым номером  $q$  связываются локальные системы координат: прямоугольная  $(x_q, y_q, z_q)$  и круговая цилиндрическая  $(r_q, \varphi_q, z_q)$ . Оси  $z_q$  в системах координат обоих типов совпадают.

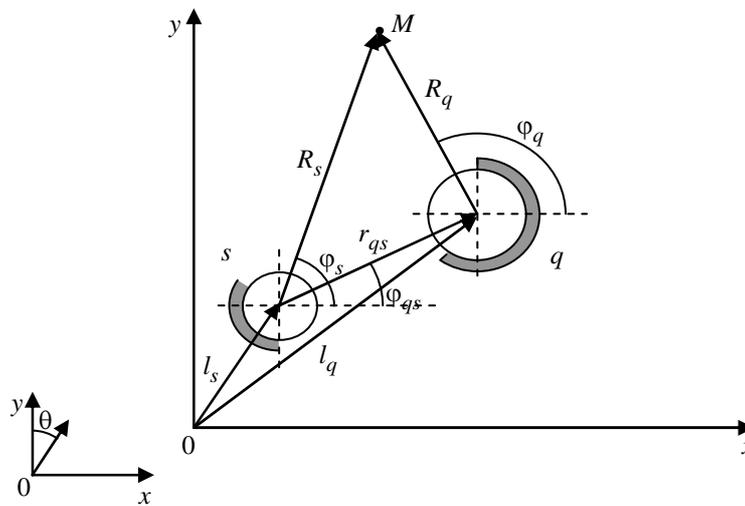


Рис. 1

Исходя из принципа суперпозиции рассеянные поля представляются в виде суммы полей, рассеянных каждым цилиндром, которые ищутся в виде известных разложений по цилиндрическим функциям [2], записанных в каждой из локальных систем координат  $(r_q, \varphi_q)$ , и имеют вид:

$$\Phi_s = \sum_{q=1}^N \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^{(q)} H_n^{(1)}(k_{l2} r_q) e^{in\varphi_q}; \quad \Psi_s = \sum_{q=1}^N \sum_{n=-\infty}^{\infty} B_n^{(q)} H_n^{(1)}(k_{t2} r_q) e^{in\varphi_q}, \quad (1)$$

где  $H_n^{(1)}$  – функции Ганкеля 1-го рода, удовлетворяющие условию излучения на бесконечности;  $A_n^{(q)}$ ,  $B_n^{(q)}$  – неизвестные коэффициенты в разложениях потенциалов продольной и поперечной волн в матрице соответственно в  $q$ -й системе координат. После применения теоремы сложения [2] выражения (1) переписутся следующим образом ( $q \neq s$ ):

$$\Phi_s = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[ A_n^{(s)} H_n^{(1)}(k_{l2} r_s) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{q=1}^N A_{n,m}^{(q)} H_{m-n}^{(1)}(k_{l2} r_{qs}) J_n(k_{l2} r_s) \right] e^{in\varphi_s},$$

$$\Psi_s = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[ B_n^{(s)} H_n^{(1)}(k_{t2} r_s) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{q=1}^N B_{n,m}^{(q)} H_{m-n}^{(1)}(k_{t2} r_{qs}) J_n(k_{t2} r_s) \right] e^{in\varphi_s}.$$

Рассеянные поля во внутренней области  $q$ -го цилиндра записываются аналогичным образом:

$$\Phi_f = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n J_n(k_{l1}r) e^{in\varphi_s}; \quad \Psi_f = \sum_{n=-\infty}^{\infty} D_n J_n(k_{t1}r) e^{in\varphi_s},$$

где  $k_{l1}, k_{t1}$  – волновые числа продольной и поперечной волн соответственно в упругих цилиндрах;  $J_n$  – цилиндрические функции Бесселя, ограниченные при нулевом значении аргумента.

Потенциал падающей волны также записывается в виде разложения по цилиндрическим функциям:

$$\Phi_0 = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-1)^n J_n(k_{l2}r) e^{-in(\varphi_s + \theta)}.$$

Полное поле данного типа волн в основной среде на основе принципа суперпозиции представляется в виде суммы поля, рассеянного на системе, и поля падающей волны того же типа. В результате получаются следующие выражения, описывающие волновые процессы в основной среде:

$$\Phi = \Phi_s + \Phi_0, \quad \Psi = \Psi_s + \Psi_0.$$

Введенные потенциальные функции должны удовлетворять решению уравнения Гельмгольца и граничным условиям. Для того чтобы выполнялось условие непрерывности поля на всей поверхности каждого цилиндра, введем некоторую область, ограниченную углами  $\varphi_0, \varphi_1$ , в которой KGN и KGT изменяются плавно, а на остальной поверхности цилиндра KGN и KGT постоянны.

Задавая таким образом модули контактных жесткостей, граничные условия можно записать в виде:

$$U_r^{II} = U_r^I + \frac{\sigma_{rr}^I}{\text{KGN}(\varphi)}; \quad U_\varphi^{II} = U_\varphi^I + \frac{\sigma_{r\varphi}^I}{\text{KGT}(\varphi)}; \quad \sigma_{rr}^{II} = \sigma_{rr}^I; \quad \sigma_{r\varphi}^{II} = \sigma_{r\varphi}^I. \quad (2)$$

Решение будем искать аналогично случаю одиночного цилиндра [3]. После удовлетворения граничным условиям (2) получается бесконечная система линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{bmatrix} a_{n11}^{(s)} & a_{n12}^{(s)} & a_{n13}^{(s)} & a_{n14}^{(s)} \\ a_{n21}^{(s)} & a_{n22}^{(s)} & a_{n23}^{(s)} & a_{n24}^{(s)} \\ a_{n31}^{(s)} & a_{n32}^{(s)} & a_{n33}^{(s)} & a_{n34}^{(s)} \\ a_{n41}^{(s)} & a_{n42}^{(s)} & a_{n43}^{(s)} & a_{n44}^{(s)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n^{(s)} \\ B_n^{(s)} \\ D_n^{(s)} \\ E_n^{(s)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_m \sum_q A_m^{(q)} b_{1,1,n,m}^{(q)} & \sum_m \sum_q B_m^{(q)} b_{1,2,n,m}^{(q)} & 0 & 0 \\ \sum_m \sum_q A_m^{(q)} b_{2,1,n,m}^{(q)} & \sum_m \sum_q B_m^{(q)} b_{2,2,n,m}^{(q)} & 0 & 0 \\ \sum_m \sum_q A_m^{(q)} b_{3,1,n,m}^{(q)} & \sum_m \sum_q B_m^{(q)} b_{3,2,n,m}^{(q)} & \sum_m D_m^{(s)} b_{3,3,n,m}^{(q)} & \sum_m E_m^{(s)} b_{3,4,n,m}^{(q)} \\ \sum_m \sum_q A_m^{(q)} b_{4,1,n,m}^{(q)} & \sum_m \sum_q B_m^{(q)} b_{4,2,n,m}^{(q)} & \sum_m D_m^{(s)} b_{4,3,n,m}^{(q)} & \sum_m E_m^{(s)} b_{4,4,n,m}^{(q)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{n,1}^{(s)} \\ F_{n,2}^{(s)} \\ F_{n,3}^{(s)} \\ F_{n,4}^{(s)} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned}
a_{n11} &= -2(k_{l2r})^2 \left[ H_n''(k_{l2r}) - \frac{\lambda_2}{2\mu_2} H_n(k_{l2r}) \right]; & a_{n21} &= 2n \left[ (k_{l2r}) H_n'(k_{l2r}) - H_n(k_{l2r}) \right]; \\
a_{n31} &= -(k_{l2r}) H_n'(k_{l2r}); & a_{n41} &= n H_n(k_{l2r}); \\
a_{n12} &= 2n \left[ (k_{t2r}) H_n'(k_{t2r}) - H_n(k_{t2r}) \right]; & a_{n22} &= -2(k_{t2r})^2 \left[ 2H_n''(k_{t2r}) + H_n(k_{t2r}) \right]; \\
a_{n32} &= n H_n(k_{t2r}); & a_{n42} &= -(k_{t2r}) H_n'(k_{t2r}); \\
a_{n13} &= 2 \frac{\mu_1}{\mu_2} (k_{l1r})^2 \left[ J_n''(k_{l1r}) - \frac{\lambda_1}{2\mu_1} J_n(k_{l1r}) \right]; & a_{n23} &= -2 \frac{\mu_1}{\mu_2} n \left[ (k_{l1r}) J_n'(k_{l1r}) - J_n(k_{l1r}) \right]; \\
a_{n33} &= (k_{l1r}) J_n'(k_{l1r}); & a_{n43} &= -n J_n(k_{l1r}); \\
a_{n14} &= 2 \frac{\mu_1}{\mu_2} n \left[ -J_n(k_{t1r}) + (k_{t1r}) J_n'(k_{t1r}) \right]; & a_{n24} &= 2 \frac{\mu_1}{\mu_2} (k_{t1r})^2 \left[ 2J_n''(k_{t1r}) + J_n(k_{t1r}) \right]; \\
a_{n34} &= -n J_n(k_{t1r}); & a_{n44} &= (k_{t1r}) J_n'(k_{t1r});
\end{aligned}$$

$$F_{n,1} = -2\varepsilon_n i^n (k_{l2r})^2 \frac{1}{\rho_2 \omega} \left[ J_n''(k_{l2r}) - \frac{\lambda_2}{2\mu_2} J_n(k_{l2r}) \right];$$

$$F_{n,2} = 2\varepsilon_n i^n \frac{1}{\rho_2 \omega} n \left[ (k_{l2r}) J_n'(k_{l2r}) - J_n(k_{l2r}) \right];$$

$$F_{n,3} = -\varepsilon_n i^n \frac{1}{\rho_2 \omega} (k_{l2r}) J_n'(k_{l2r}); \quad F_{n,4} = -\varepsilon_n i^n \frac{1}{\rho_2 \omega} n J_n(k_{l2r});$$

$$b_{1,1,n,m}^{(q)} = -(k_{l2r})^2 \left[ J_n''(k_{l2r}) - \frac{\lambda_2}{2\mu_2} J_n(k_{l2r}) \right] H_{n-m}(k_{l2r_{qs}}) \exp((n-m)\varphi_{qs});$$

$$b_{2,1,n,m}^{(q)} = n \left[ (k_{l2r}) J_n'(k_{l2r}) - J_n(k_{l2r}) \right] H_{n-m}(k_{l2r_{qs}}) \exp((n-m)\varphi_{qs});$$

$$b_{3,1,n,m}^{(q)} = -(k_{l2r}) J_n'(k_{l2r}) H_{n-m}(k_{l2r_{qs}}) \exp((n-m)\varphi_{qs});$$

$$b_{4,1,n,m}^{(q)} = n J_n(k_{l2r}) H_{n-m}(k_{l2r_{qs}}) \exp((n-m)\varphi_{qs});$$

$$b_{1,2,n,m}^{(q)} = n \left[ (k_{t2r}) J_n'(k_{t2r}) - J_n(k_{t2r}) \right] H_{n-m}(k_{t2r_{qs}}) \exp((n-m)\varphi_{qs});$$

$$b_{2,2,n,m}^{(q)} = -(k_{t2r})^2 \left[ 2J_n''(k_{t2r}) + J_n(k_{t2r}) \right] H_{n-m}(k_{t2r_{qs}}) \exp((n-m)\varphi_{qs});$$

$$b_{3,2,n,m}^{(q)} = n J_n(k_{t2r}) H_{n-m}(k_{t2r_{qs}}) \exp((n-m)\varphi_{qs});$$

$$b_{4,2,n,m}^{(q)} = -(k_{t2r}) J_n'(k_{t2r}) H_{n-m}(k_{t2r_{qs}}) \exp((n-m)\varphi_{qs});$$

$$b_{3,3,n,m}^{(q)} = 2\mu_1 (k_{l1r})^2 \left[ J_m''(k_{l1r}) - \frac{\lambda_1}{2\mu_1} J_m(k_{l1r}) \right] \frac{\exp(n\varphi) \exp(m\varphi)}{\text{KGN}(\varphi)};$$

$$b_{4,3,n,m}^{(q)} = -2m\mu_1 \left[ (k_{l1r}) J_m'(k_{l1r}) - J_m(k_{l1r}) \right] \frac{\exp(n\varphi) \exp(m\varphi)}{\text{KGT}(\varphi)};$$

$$b_{3,4,n,m}^{(q)} = 2\mu_1 m \left[ -J_m(k_{t1r}) + (k_{t1r}) J_m'(k_{t1r}) \right] \frac{\exp(n\varphi) \exp(m\varphi)}{\text{KGN}(\varphi)};$$

$$b_{4,4,n,m}^{(q)} = 2\mu_1 (k_{t1r})^2 \left[ 2J_m''(k_{t1r}) + J_m(k_{t1r}) \right] \frac{\exp(n\varphi) \exp(m\varphi)}{\text{KGT}(\varphi)}.$$

После ряда элементарных алгебраических преобразований данная система уравнений записывается в каноническом виде:

$$\begin{aligned}
X_{m,s,j} + \sum_n \sum_q \sum_g X_{n,q,g} Y_{1n,m,q,j,g} + \sum_n \sum_g X_{n,s,g} Y_{2n,m,s,j,g} &= F_{m,s,j}; \\
Y_{1n,m,q}^{(jg)} &= \frac{\Delta_n^{(g1)}}{\Delta_n} b_{j,1,n,m}^{(q)} + \frac{\Delta_n^{(g2)}}{\Delta_n} b_{j,2,n,m}^{(q)}; \quad Y_{2n,m,s}^{(jg)} = \frac{\Delta_n^{(g1)}}{\Delta_n} b_{j,3,n,m}^{(s)} + \frac{\Delta_n^{(g2)}}{\Delta_n} b_{j,4,n,m}^{(s)},
\end{aligned} \tag{4}$$

где  $X_{m,s,j}$  – неизвестные коэффициенты разложения;  $\Delta_n$  – определитель матрицы  $A$ ;  $\Delta^{(gi)}$  – алгебраические дополнения для элементов  $x$  и  $y$  матрицы  $A$  в системе (3). Здесь дополнительный член (тройная сумма) учитывает взаимодействие между цилиндрами. Чем дальше друг от друга находятся цилиндры, тем меньший вклад в рассеянное поле вносит это слагаемое. Двойная сумма учитывает влияние кольцевого слоя с нарушенной адгезией.

Система (4) подобна изученным, например в [4], и разрешима методом усечения.

В качестве количественных характеристик рассеянного поля исследовалось нормированное поперечное сечение рассеяния.

Численный расчет проводился для системы из двух и трех цилиндров с одинаковым состоянием границы. В качестве основной среды использовалась углеродистая сталь с плотностью  $\rho_2 = 7.8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , скоростью продольных и поперечных волн  $c_{l2} = 5.85 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ ,  $c_{t2} = 3.23 \cdot 10^3 \text{ м/с}$  соответственно, а в качестве материала включения – металлургический графит с плотностью  $\rho_1 = 2.25 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  и постоянными Ламе:  $\lambda_1 = 2.28 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ ,  $\mu_1 = 0.15 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ . На рис. 2 и 3 приведены результаты вычислений поперечного сечения рассеяния  $Q$  в зависимости от угла раскрытия кольцевого слоя ( $a$ ) и его расположения на поверхности цилиндра ( $b$ ).

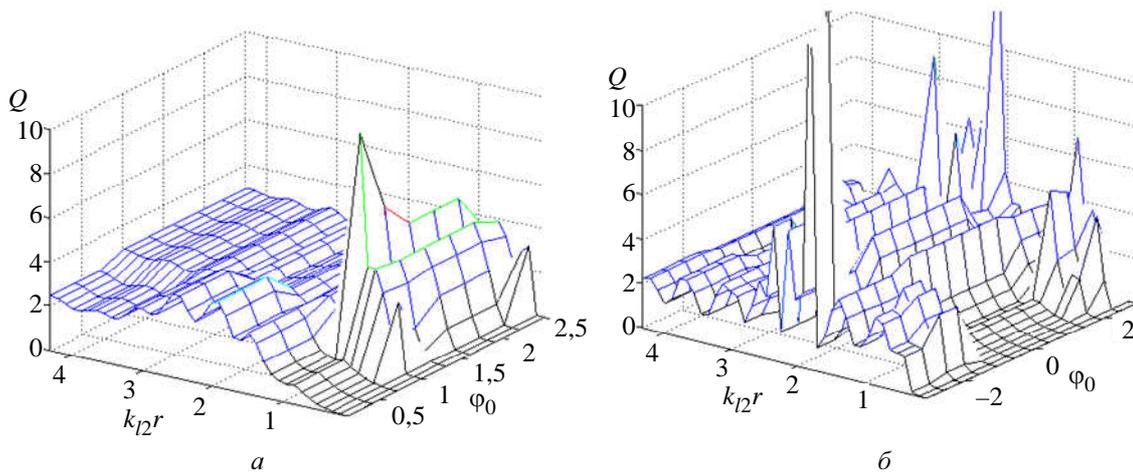


Рис. 2

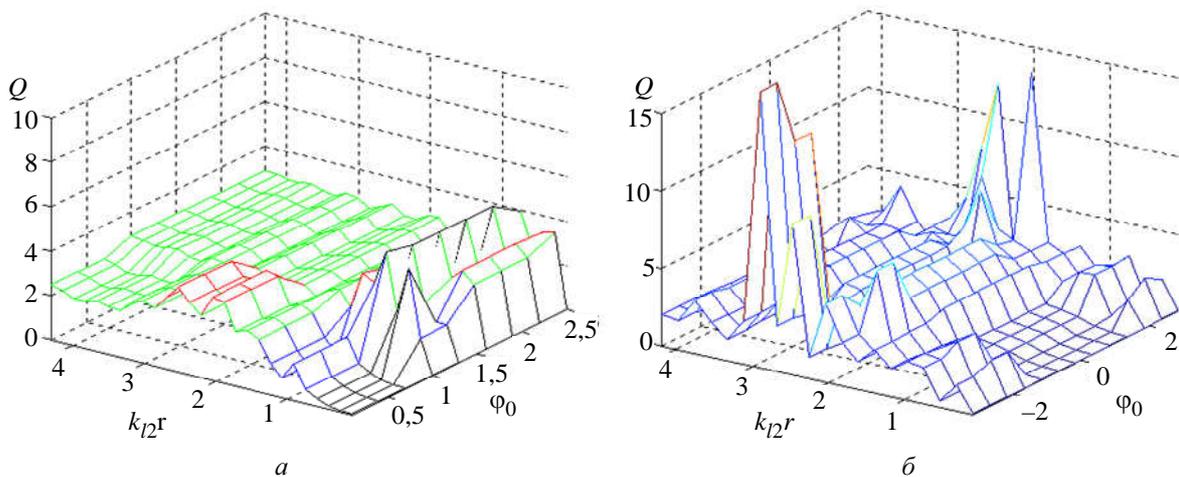


Рис. 3

Из полученных зависимостей видно, что при дифракции на системе цилиндров с нарушением адгезии в пределах некоторого сектора рассеянное поле схоже с полем, рассеянным одиночным цилиндром. При некотором угле раскрытия кольцевого слоя наблюдается резкое изменение поперечника рассеяния. Взаимодействие между цилиндрами влияет на осцилляции поперечника рассеяния.

Как и предполагалось, при увеличении расстояния между цилиндрами их влияние друг на друга уменьшается и рассеянное поле становится таким же, как при дифракции на одиночном цилиндре. При увеличении числа взаимодействующих рассеивателей максимумы поперечника рассеяния сглаживаются, их число и месторасположение изменяются.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шендеров Е. Л. Волновые задачи гидроакустики. Л.: Судостроение, 1972.
2. Климов А. Е., Лейко А. Г. Дифракция звуковых волн на системе цилиндров, расположенных в незамкнутых кольцевых слоях // Акуст. журн. 1979. Т. 25, вып. 5. С. 717–724.
3. Теплякова А. В. Дифракция на цилиндрической неоднородности с несимметричной структурой в твердой среде // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Приборостроение и информационные технологии». 2006. Вып. 1. С.23-28.
3. Nagaya K., Saito H. Transverse vibration and wave propagation in an infinite thin elastic plate with circular inclusions // Bull. of the JSME. 1974. Vol. 17, № 111. P. 1121–1128.
4. White R. M. Elastic wave scattering at a cylindrical discontinuity in a solid // JASA. 1958. Vol. 30, № 8.

*A. V. Teplyakova*

#### *DIFFRACTION ON A SET OF FINITE-NUMBER CYLINDER-SHAPED COMPLEX STRUCTURED INCLUSIONS*

*Solution for plain elastic wave diffraction on a set of finite-number cylinder-shaped inclusions in a solid media was obtained and analyzed. Certain part of cylinder inclusion has a adhesion losses being consider as “linear-slip” approximation. Cylinder inclusion orientation and dimension are arbitrary in common case.*

**Adhesion, non-destructive testing, cylinder-shaped inhomogeneity, diffraction, separation of variables**

УДК 620.179.16

*С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко*

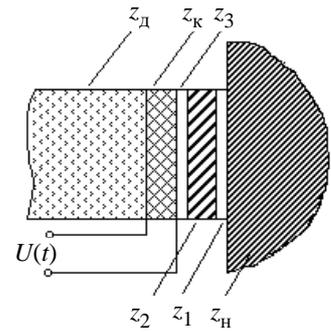
### **ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОГО АКУСТИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОТЕКТОРА НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИМПУЛЬСА, ИЗЛУЧАЕМОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ**

*Расчетным путем изучено влияние удельных акустических сопротивлений протектора и исследуемой твердой среды на длительность излучаемых многослойным преобразователем акустических импульсов. В качестве активного пьезоэлемента рассмотрена пластина, возбуждаемая электрическим импульсом в виде половины периода синусоиды на частоте антирезонанса. Акустический контакт со средой осуществляется через систему “контактный слой–протектор–контактный слой”.*

**Акустический импульс, пьезокерамическая пластина, твердая среда, контактный слой, протектор**

В ряде предшествующих статей авторами были приведены некоторые результаты исследований, касающихся возможности излучения короткого импульса многослойным преобразователем при нагрузке его на твердое тело (металл) с шероховатой поверхностью [1]–[3]. При этом получены конкретные оценки длительностей и амплитуд акустических импульсов для различных волновых толщин и удельных акустических сопротивлений материалов контактных слоев и протектора. Подразумевалось, что излучение ведется в сталь. Определенный практический интерес могут представить аналогичные оценки для случая, когда

акустической нагрузкой является металл, свойства которого существенно отличны от свойств стали. В качестве такого материала может быть выбран алюминий, удельное акустическое сопротивление которого примерно в 3 раза меньше, чем у стали. Задача рассматривается в постановке, изложенной в [1]–[3]. Многослойный преобразователь работает на твердую среду (алюминий) через систему “контактный слой–протектор–контактный слой” (рис. 1). Активный элемент представляет собой пластину из пьезокерамики ЦТСНВ-1, которая с тыльной стороны нагружена на демпфер. Как и ранее, электрическое возбуждение осуществляется импульсом напряжения  $U(t)$  в виде одного полупериода синусоиды на антирезонансной частоте  $\omega_0$  пьезопластины. На рисунке использованы следующие обозначения:  $z_1, z_2, z_3$  – удельные акустические сопротивления наружного контактного слоя, протектора и внутреннего контактного слоя соответственно;  $z_k, z_d, z_n$  – удельные акустические сопротивления пьезокерамики, демпфера и акустической нагрузки (алюминия). Пусть  $x_k$  – волновая толщина пьезокерамики, а  $x_1, x_2$  и  $x_3$  – волновые толщины наружного контактного слоя, протектора и внутреннего контактного слоя соответственно. Если ввести параметры  $a_1, a_2$  и  $a_3$  так, что  $a_1 = x_1/x_k, a_2 = x_2/x_k$  и  $a_3 = x_3/x_k$ , то с их помощью можно выражать волновые толщины всех трех слоев в долях от  $x_k$ . Задача сводится к определению значений параметров, характеризующих описанную систему, при которых акустический импульс, излучаемый в исследуемую среду, остается еще достаточно коротким. Методика решения этой задачи довольно подробно описана в предшествующих работах. За длительность излучаемого импульса  $\tau_{\text{и}}$ , как и ранее, договоримся принимать время, прошедшее от его начала до момента снижения амплитуды в 10 раз по отношению к максимальному значению амплитуды в импульсе (уровень –20 дБ). Введем безразмерное время  $T = t/(T_0 / 2)$ , где  $T_0$  – период колебаний на частоте  $\omega_0$ . Это позволит оценивать длительность импульса  $\tau_{\text{и}}$  числом полупериодов колебаний на собственной частоте пластины.



В работе [3] отмечено, что в случае, когда в качестве обоих контактных слоев используются материалы, имеющие достаточно большие значения удельных акустических сопротивлений, например, близких к значению удельного акустического сопротивления эпоксидной смолы ( $z_1 = z_3 = 3 \cdot 10^6$  Па·с/м), рассматриваемый многослойный преобразователь при излучении в сталь способен создавать импульсы длительностью 10–11 полупериодов в широком диапазоне значений  $z_2$  даже при волновой толщине наружного контактного слоя  $a_1 = 0,2$ . Полученный результат оказался возможен при следующих значениях параметров, характеризующих рассматриваемую систему:  $a_1 = 0,2, a_3 = 0,01, a_2 = 0,1, z_d = 9 \cdot 10^6$  Па·с/м. Представляет интерес определить длительность излучаемого акустического импульса при тех же значениях параметров, но для случая, когда в качестве акустической нагрузки выбран алюминий. Результаты этих расчетных исследований приведены на рис. 2 и 3. Так, расчетные значения длительностей акустических импульсов  $\tau_{\text{и}}$  в зависимости от значений удельных акустических сопротивлений протектора  $z_2$  представлены на рис. 2, а изменение максимальных амплитуд импульса  $v_{\text{max}}(z_2)$  – на рис. 3. При этом следует учесть, что значения  $v_{\text{max}}$  отложены по оси ординат на рис. 3 в условных еди-

ницах, пропорциональных колебательной скорости в излучаемом импульсе, что объясняется решением задачи с точностью до постоянного коэффициента. Нумерация приводимых кривых на обоих рисунках одинакова: кривой 1 соответствует значение  $a_1 = 0,01$ ; 2 –  $a_1 = 0,4$ . Для сравнения с результатами, отражаемыми кривыми 1 и 2, полученными для случая излучения в алюминий, приведена кривая 3, которая соответствует излучению в сталь при  $a_1 = 0,2$ .

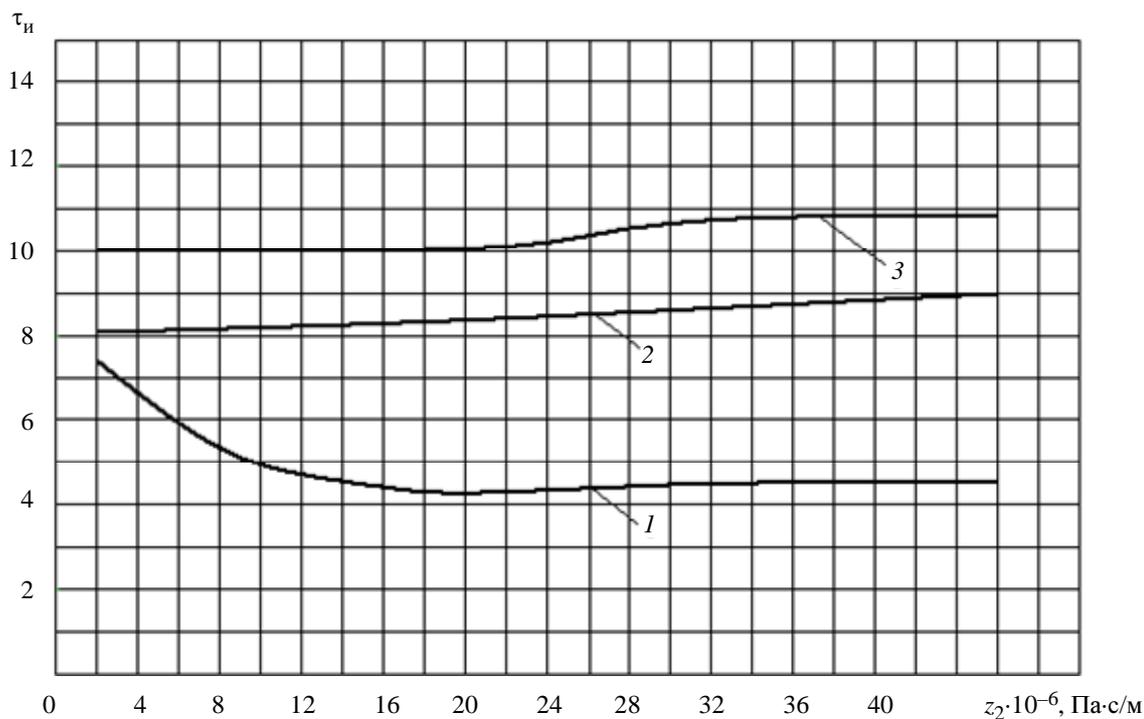


Рис. 2

Из рис. 2 видно, что при малых  $a_1$  (см. кривую 1) достаточно короткий импульс длительностью 4–5 полупериодов может быть получен лишь при  $z_2 > 10 \cdot 10^6$  Па·с/м. Вне этой области длительность импульса может составить 5–7,5 полупериодов. Максимальной амплитуды импульс достигает при  $z_2 > 18 \cdot 10^6$  Па·с/м (см. кривую 1 на рис. 3). С увеличением значений  $a_1$  характер зависимости  $\tau_n(z_2)$  изменяется.

Для примера на рис. 2 приведена кривая 2, которая соответствует значению  $a_1 = 0,4$ . Можно утверждать, что при больших  $a_1$  во всем рассматриваемом диапазоне изменения  $z_2$  длительность импульса изменяется незначительно и составляет 8–9 полупериодов. Следует также отметить, что минимальные значения  $\tau_n$  соответствуют малым  $z_2$ . Это позволяет вполне обоснованно применять в этих случаях эластичные протекторы, например полиуретановые пленки. Данный факт наблюдался и при расчетных исследованиях, результаты которых приведены в [3]. Из поведения кривой 2 на рис. 3 видно, что при малых значениях  $z_2$  излучаемый акустический импульс имеет пониженную амплитуду. Действительно, лишь при  $z_2 > 10 \cdot 10^6$  Па·с/м амплитуды сигналов достигают максимальных значений и далее не изменяются. Кривой 3 на рис. 2 и 3 соответствует случай излучения многослойным преобразователем сигнала в сталь. Видно, что в этом случае длительности излучаемых импульсов при  $a_1 = 0,2$  (см. кривую 3 на рис. 2) составляют 10–11 полупериодов. Амплитуды импульсов примерно в 2 раза ниже, чем в случае излучения в алюминий при  $a_1 = 0,4$  (см. кривые 2 и 3 на рис. 3).

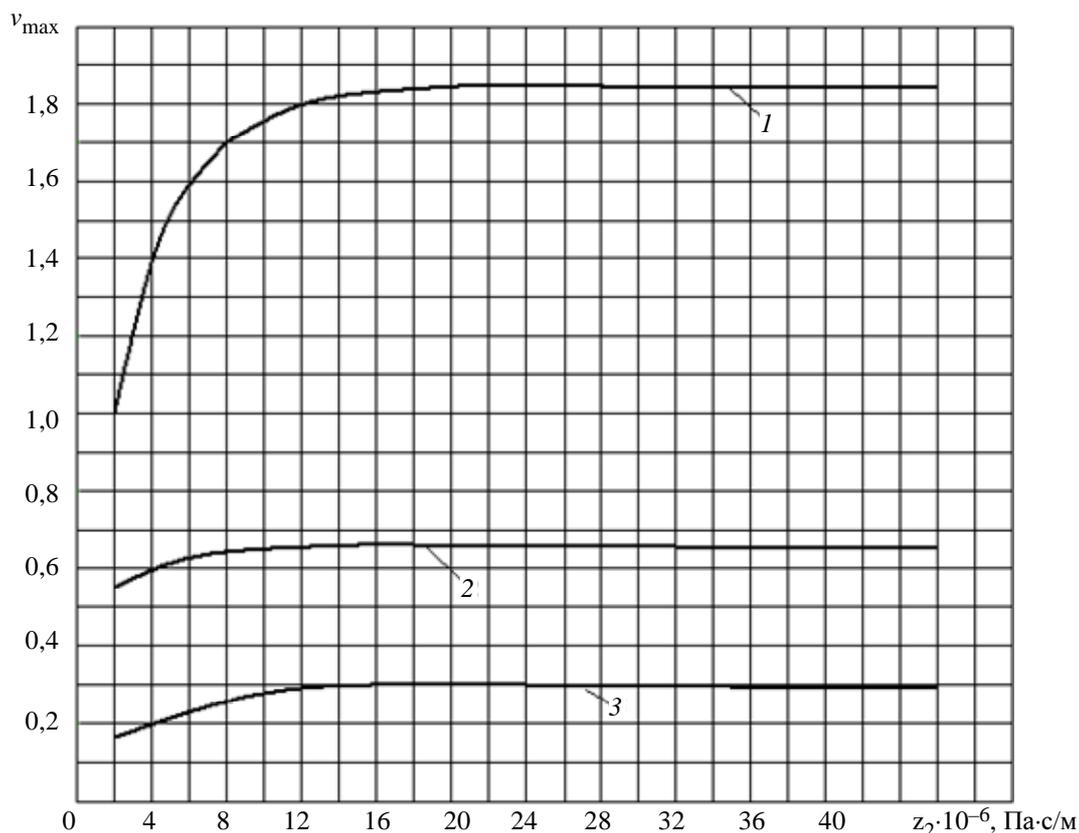


Рис. 3

Таким образом, на основании расчетных исследований можно утверждать, что применение в качестве контактных слоев материалов с большим значением удельного акустического сопротивления (например,  $3 \cdot 10^6$  Па·с/м) позволяет при излучении в алюминий достигать длительностей акустических импульсов 8–9 полупериодов при волновой толщине наружного контактного слоя  $a_1 = 0,4$  (для рассмотренных в расчете значений параметров, характеризующих систему). Излучение в сталь не позволяет достигать таких результатов. В этом случае уже при  $a_1 = 0,2$  длительность импульса составляет 10–11 полупериодов при тех же значениях всех параметров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Влияние конструктивных параметров преобразователя на длительность акустического импульса, излучаемого в твердое тело // Дефектоскопия. 2005. № 6. С. 3 – 10.
2. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Влияние демпфера на длительность акустического импульса, излучаемого многослойным преобразователем в твердую среду // Дефектоскопия. 2005. № 7. С. 39 – 45.
3. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Исследование влияния асимметрии акустических свойств контактных слоев и протектора на форму импульса, излучаемого преобразователем в твердое тело // Дефектоскопия. 2006. № 1. С. 61–67.

*S. I. Konovalov, A. G. Kuzmenko*

#### *THE EFFECT OF SPECIFIC ACOUSTIC IMPEDANCE OF THE PROTECTOR ON THE DURATION OF A PULSE RADIATED BY A TRANSDUCER*

*On the base of numerical calculations the effect of specific acoustic impedances of the protector and the solid medium on the duration of an acoustic pulse radiated by multilayered transducer is investigated. The piezoceramic plate excited by a half-period sinusoid voltage at the antiresonant frequency is considered. Radiation effects through the system "contact layer – protector – contact layer".*

**Acoustic pulse, piezoceramic plate, solid medium, contact layer, protector**

## УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ УНИФИЦИРОВАННОГО РЯДА ЛАЗЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ГОНИОМЕТРОВ

*Рассматривается устройство регистрации сигналов и передачи информации в персональный компьютер, предназначенное для работы с различного рода лазерными динамическими гониометрами.*

### Лазерный динамический гониометр, кольцевой лазер, датчик угла, регистрация сигналов

Средства лазерной динамической гониометрии, использующие кольцевой лазер (КЛ) в качестве образцового датчика угла, вышли далеко за рамки лабораторных исследований и органически дополнили традиционные углоизмерительные устройства [1]. Они характеризуются высоким быстродействием, погрешностями, соизмеримыми с погрешностями государственных эталонов, неограниченным диапазоном угловых измерений. Принцип работы лазерного динамического гониометра лег в основу построения государственного эталона единицы угла при угловом перемещении твердого тела, государственного эталона единицы показателя преломления [2], [3]. Лазерные динамические гониометры используются для калибровки многогранных призм, различного рода преобразователей угла, бесконтактного измерения параметров углового движения «внешнего» зеркала [4].

Блок-схема обобщенного лазерного динамического гониометра приведена на рис. 1.

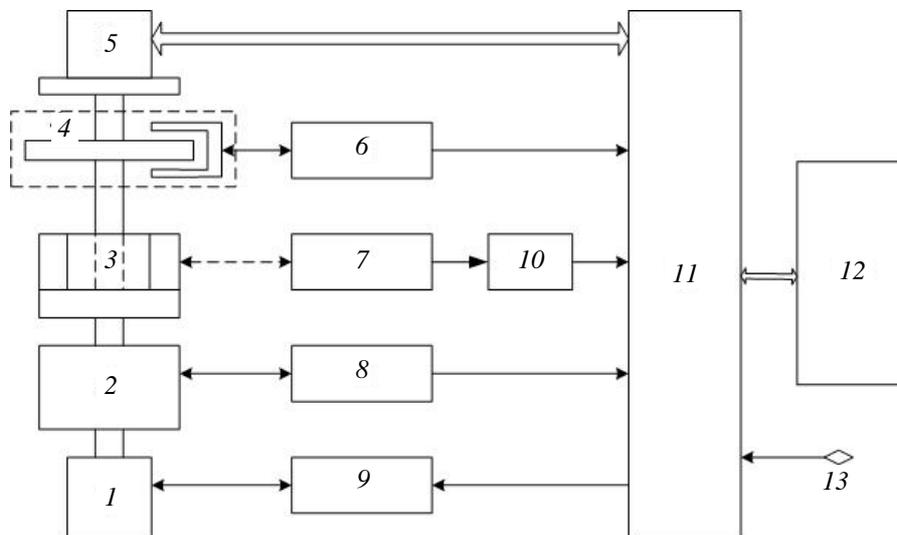


Рис. 1

Основой лазерного динамического гониометра (ЛДГ) является кольцевой лазер 2, вращаемый двигателем 1. В зависимости от решаемой задачи на валу ЛДГ устанавливается многогранная призма 3, оптически связанная с интерференционным нуль-индикатором 7, либо инкрементный оптический датчик угла 4, или кодовый датчик угла 5. Устройство управления двигателем 9 совместно с двигателем 1 вращает шпиндель с заданными угловой скоростью и ускорением. Выходные сигналы КЛ, оптического датчика угла (ОДУ) и интерференционного нуль-индикатора (НИ) пропускаются через соответствующие форми-

рователи сигналов 6, 8, 10 и направляются в устройство регистрации 11, которое осуществляет предварительную обработку данных и передачу их в персональный компьютер 12. В устройство регистрации поступает также выходной сигнал кодового датчика угла (ДУ), который механически соединяется со шпинделем ЛДГ переходной муфтой. Определение угла поворота вала ЛДГ в заданные моменты времени может осуществляться по внешним запросным сигналам 13. Окончательные вычисления и отображение информации выполняются в персональном компьютере (ПК).

Устройство регистрации сигналов (УРС) является неотъемлемой частью динамического гониометра и не только осуществляет предварительную обработку данных, но и обеспечивает автоматизацию процесса измерения. Различные условия измерений и разнообразие характеристик сигналов, поступающих с датчиков угла, определяют достаточно обширный набор требований, предъявляемых к данному устройству. Основными требованиями, предъявляемыми к УРС, являются: а) возможность работать с различного рода сигналами, такими, как кодовые последовательности параллельного и последовательного типов, а также с сигналами частотного типа; б) высокая частота обработки информации; в) наличие нескольких независимых каналов регистрации.

Проведенный поиск существующих средств регистрации сигналов не позволил выбрать устройство, которое в полной мере отвечало бы всем ранее перечисленным требованиям. Разнообразие требований, предъявляемых к УРС, и отсутствие стандартных средств регистрации послужили поводом для разработки специализированного УРС, которое обеспечивало бы работу всего ряда лазерных динамических гониометров.

**Характеристика входных сигналов.** По функциональному назначению поступающие в УРС сигналы можно разделить на информационные и управляющие. К информационным сигналам следует отнести сигналы КЛ, ОДУ, ДУ, сигнал времени, вырабатываемый самим УРС. Управляющие сигналы задают моменты считывания информации, к ним относятся сигналы НИ и внешний запросный сигнал (ЗП). Особым управляющим сигналом является сигнал нулевой метки (НМ), который формируется один раз на оборот вала ЛДГ и задает начало процессу измерений.

Существуют 2 больших класса датчиков угла, отличающихся как принципом действия, так и характеристиками выходного сигнала. К ним следует отнести инкрементные оптические датчики угла и кодовые датчики угла. Выходной сигнал инкрементных ОДУ представляет собой TTL-сигнал, частота которого определяется ценой деления ОДУ и скоростью вращения ротора ОДУ. Выходной сигнал кодовых ДУ – это код, который может быть как параллельным, так и последовательным. Как правило, частота обновления параллельного кода значительно выше частоты обновления последовательного кода и зависит от разрядности датчиков и скорости вращения ротора ДУ.

Анализ входных сигналов, поступающих в УРС (см. таблицу), и схемы обобщенного ЛДГ (рис. 1) позволил выделить основные режимы работы УРС:

- режим 1, обеспечивающий определение метрологических характеристик инкрементных ОДУ и оптических призм, измерение параметров движения внешнего зеркала;
- режим 2, обеспечивающий определение характеристик кодовых ДУ.

Тип сигнала	Сигнал	Характеристика сигнала	Частота, кГц	Длительность, мкс
Информационный	КЛ	Меандр, TTL	0...4000	
	ОДУ1	Меандр, TTL	0...1000	
	ОДУ2	Меандр, TTL	0...1000	
	Кодовый ДУ	Параллельный до 22-го разряда (включительно)	0...300	
	Время	Внутренний	1000	1
Управляющий	НИ	Импульс, TTL	0...300	< 1000
	Внешний импульс запроса (ЗП)	Импульс, TTL	0...300	1
	НМ	Импульс, TTL	0...0.1	< 100 000

Основной функцией УРС является подсчет периодов информационных сигналов и значений кодов, поступающих между рабочими фронтами управляющих сигналов, фиксация этих значений и передача их в компьютер.

**Состав устройства.** Общий подход при создании УРС функционального ряда лазерных динамических гониометров основан на реализации программно-управляемого устройства, включающего в себя универсальный модуль и программу для его обслуживания. Основой для его разработки послужили комплекс задач, решаемых каждым лазерным динамическим гониометром, и особенности используемых сигналов.

Конструктивно УРС оформлено в виде самостоятельной печатной платы, функциональный состав которой приведен на рис. 2.



Рис. 2

Основу составляют две интегральные микросхемы программируемой логики (ПЛИС) и две интегральные микросхемы (ИС) оперативной памяти. Функциональным назначением первой ПЛИС типа MAX 3000A (производство фирмы Altera) является решение интерфейсных задач связи HOST-компьютера с логическим центром платы, реализованным на ПЛИС типа ACEX 1K (также производства фирмы Altera). Интерфейс HOST-компьютера с тестирующим устройством ориентирован на ресурсы LPT-порта (работающего в ускоренном режиме – в режиме EPP). Для связи с ПК предусмотрено подключение к плате кабеля, соединяющего ее с выходным разъемом LPT порта ПК.

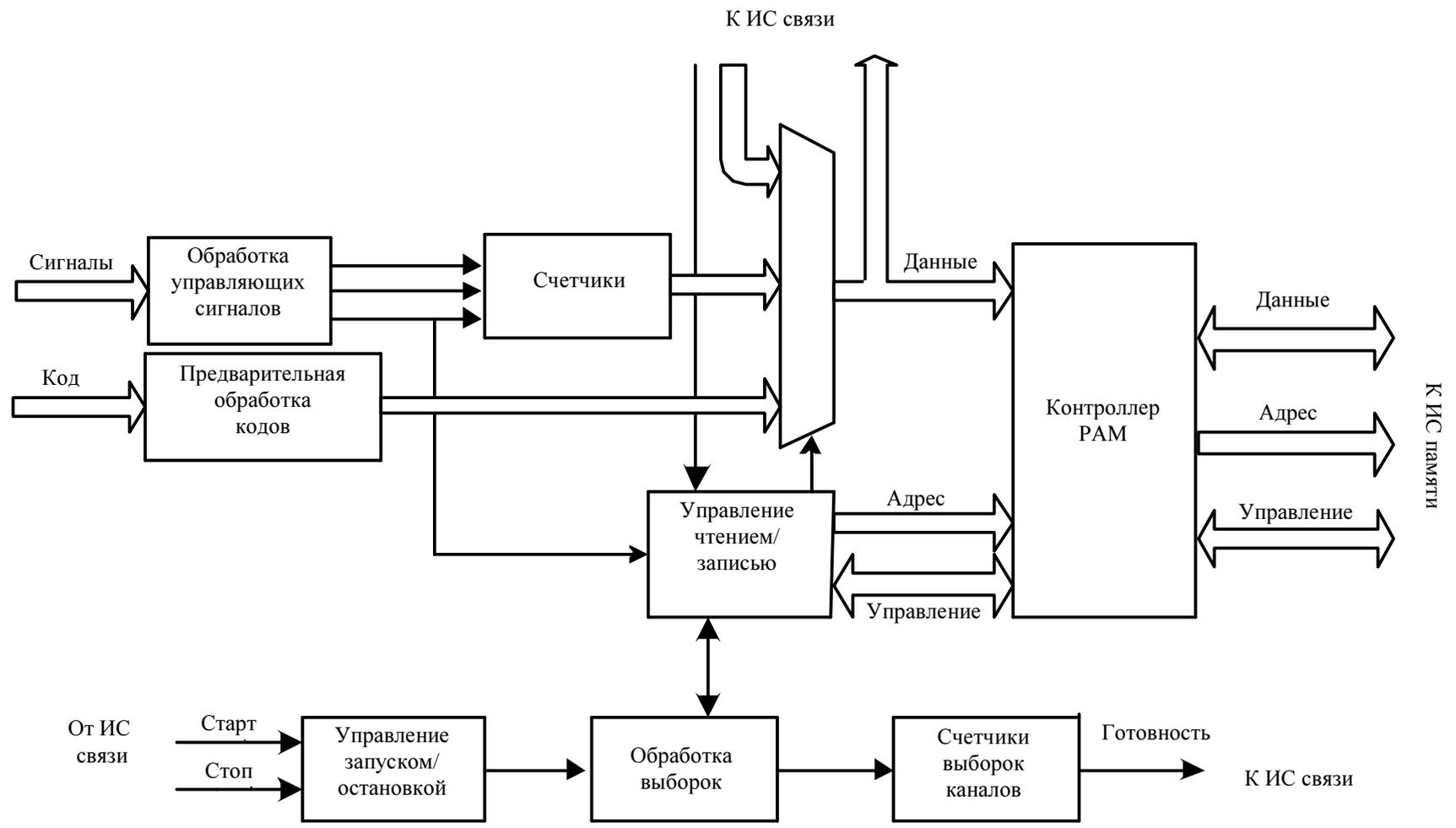


Рис. 3

Загружаемая из ПК через интерфейсную ИС конфигурация схемы ПЛИС создает схему, требуемую для организации заданного режима эксперимента. Разбиение схем на функциональные блоки соответствует разбиению общей задачи на отдельные подблоки. Несколько упрощенная функциональная схема ИС базовой обработки измерительной информации приведена на рис. 3.

В УРС могут быть выделены следующие функциональные подблоки: работа с кодовыми последовательностями, выделение временных составляющих управляющих сигналов, управление внешней памятью, интерфейс с управляющей БИС, управление запуском и остановкой экспериментов. Общее число задействованных элементов в обрабатываемой ПЛИС 1600 LEs около 30 тыс. эквивалентных вентиляей.

Требование сохранения значительного объема экспериментальных данных обусловило введение в состав платы двух схем динамической памяти. В результате плата может сохранять до 16 Мбайт данных.

Управляющие сигналы тестируемых устройств и кодовые данные датчиков поступают на схему ПЛИС через интерфейсные ИС. Работа устройства обеспечивается осциллятором, формирующим частоту 30 МГц. Кроме того, на плате предусмотрена установка дополнительного оборудования малой степени интеграции для таких целей, как преобразование питающих напряжений, средства отображения состояния устройства и т. д.

В зависимости от поставленной задачи (выбранного режима работы) требования к устройству регистрации меняются. Соответственно должны изменяться структура и характеристики УРС.

Работу УРС в составе углоизмерительного комплекса поддерживает программное обеспечение (ПО), размещаемое в ПК. Для упрощения создания разнообразных приложений и возможных модернизаций комплекса ПО выполнено в форме динамических библиотек (DLL-файлов). Программные модули выполняют следующие основные функции: загрузку конфигурации, выбор режима работы, выполнение тестовых процедур, набор и ввод установочных параметров выбранного режима, запуск эксперимента, контроль за проведением эксперимента, возможность ручного досрочного завершения эксперимента, просмотр и сохранение данных эксперимента на внешнем носителе, сохранение состояния тестирующей установки. Для удобства работы создана программа-оболочка с графическим интерфейсом.

#### ***Режимы работы устройства.***

Режим 1. В этом режиме в устройство поступают информационные сигналы от КЛ, ОДУ и управляющие: НИ и ЗП. Все эти сигналы являются асинхронными. Устройство регистрации состоит из двух независимых каналов, управляемых сигналами НИ и ЗП соответственно. Каждый канал содержит счетчики для подсчета числа периодов информационных сигналов и сигнала времени. Счетчики информационных сигналов работают в непрерывном режиме и сбрасываются при обнаружении первого сигнала НМ после получения команды «старт измерения». В дальнейшем сигнал НМ никак не влияет на процесс измерения.

Чтобы уменьшить погрешность дискретизации, для каждого информационного сигнала кроме основной функции подсчета входных импульсов реализована функция временной интерполяции. Эта функция реализуется двумя дополнительными счетчиками, измеряющими

длительность периода информационного сигнала в момент прихода рабочего фронта управляющего сигнала и временного интервала между рабочим фронтом информационного сигнала и рабочим фронтом управляющего сигнала. Таким образом, в каждом канале в момент прихода управляющего импульса происходит фиксация показаний 10 счетчиков общей разрядностью 192 бита. В файл результатов записываются показания счетчиков.

Режим 1 включает в себя подрежим 1а, в котором из информационных сигналов ОДУ формируются управляющие сигналы, поступающие на входы НИ и ЗП. С этой целью в УРС вводятся программно-управляемые делители частоты. Сигналы, поступающие на входы ОДУ1 и ОДУ2, разветвляются на 2 потока, один из которых проходит через управляемый делитель и поступает на внутренний вход управляющего сигнала, при этом внешние входы управляющих сигналов отключаются. Второй поток информационных сигналов идет без изменения. Программно-управляемые делители являются независимыми.

Режим 2. Согласно [5] в процессе калибровки кодовых ПУ должны быть определены такие его характеристики, как монотонность следования кодов, информационная емкость, погрешность угловой координаты смены кода. Для выполнения этих задач УРС реализует подрежимы: 2.1 – определение правильности чередования кодов; 2.2 – определение угловых координат смены кода датчика; 2.3 – определение угловых параметров смены кода датчика с формированием запросного импульса.

*Режим 2.1.* Режим предназначен для определения порядка чередования кодов. С этой целью производится считывание выходного кода ДУ с интервалом, задаваемым пользователем. Значение интервала определяется умножением 33 нс на задаваемый пользователем коэффициент. В памяти УРС фиксируются коды трех типов: длительные, стабильные и индивидуальные, а также признак пропуска записи. В файле результатов помимо значений кодов и их признаков (единичный, стабильный, длительный, пропуск) фиксируется значение временного счетчика, соответствующее его состоянию при последнем значении кода перед изменением.

*Режим 2.2.* В этом режиме по сигналу внешнего запросного импульса ЗП фиксируются значения счетчиков информационных сигналов ОДУ1, ОДУ2, временных сигналов, а также считывается значение кода ДУ. Код считывается параллельно без предварительной фиксации и анализа готовности.

*Режим 2.3.* В этом режиме фиксируются значения счетчиков информационных сигналов ОДУ1, ОДУ2 по сигналу «Обр. ЭВМ». При этом сигнал «Обр. ЭВМ» формируется УРС с задаваемой пользователем частотой. Съем кода осуществляется по сигналу «Подтверждение», поступающему от ПУ в ответ на сигнал «Обр. ЭВМ».

Кроме рассмотренных режимов УРС реализует режим «Определение угловых параметров смены кода датчика с побайтным съемом кодов». Данный режим предназначен для работы с определенным классом высокоразрядных кодовых ПУ.

### **Выводы**

Возложение каждой функциональной задачи комплекса на части ПК или ПЛИС, которая в наибольшей мере соответствует ее решению, позволяет оперативно изменять и настраивать каждую из этих частей. Разделение задач и хранение регистрируемых данных в УРС позволили получить требуемые временные и точностные характеристики всей системы в целом,

создать устройство, которое обеспечивает регистрацию данных и ввод их в ПК для всего функционального ряда лазерных динамических гониометров.

В настоящее время УРС внедрено в Измерительно-вычислительный комплекс для автоматизированного контроля высокоразрядных цифровых преобразователей угла, созданный по заказу Минобороны РФ в рамках ОКР «Эклибрис».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lukyanov D. P., Pavlov P. A., Filatov Yu. V. Unified set of multifunctional laser goniometric apparatus for navigation and orientation problem// Symposium Gyro Technology. 1991. Stuttgart, Germany. P. 4.0–4.12.
2. Синельников А. Е., Кудрявцев В. Н., Павлов П. А. Новый эталон России в области измерения низкочастотных параметров движения// Гироскопия и навигация. 2003. № 1 (40). С. 63–75.
3. Измерение показателя преломления на гониометре в динамическом режиме / Г. Н. Вишняков, Г. Г. Левин, С. В. Корнышева и др. // Оптический журнал. 2005. Т. 72, № 12. С. 53–58.
4. Развитие методов и средств лазерной динамической гониометрии / М. Н. Бурнашев, Д. П. Лукьянов, П. А. Павлов, Ю. В. Филатов// Квантовая электроника. 2000. Т. 30, № 2. С. 141–146.
5. ГОСТ РВ 52015. М: Изд-во стандартов, 2003.

*P. I. Grushitskiy, D. V. Kilochek, P. A. Pavlov*

*The device for registration of signals for the unified set of the multifunctional laser goniometric apparatus. The device for the signal registrations and the information transfer to personal computer for the unified set of the multifunctional laser goniometric apparatus is considered.*

**Laser dynamic goniometer, ring laser, angle-data transmitter, signal registrations**



УДК 621.315.592

*Н. В. Голубченко, М. А. Иошт, В. А. Мошников*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ СЕЛЕНИДА СВИНЦА МЕТОДАМИ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ

*Полученные топографические изображения поверхности слоев с высоким разрешением позволили детально изучить кристаллиты, сформированные в процессе напыления слоев, оценить их форму и размеры, а также проследить динамику окисления поверхностного слоя исходной структуры в процессе хранения на воздухе при комнатной температуре. Вольт-амперные характеристики, полученные методом ЛТС, позволили оценить ширину запрещенной зоны оксидных фаз.*

**Селенид свинца, локальная туннельная спектроскопия, сканирующая туннельная микроскопия, топография поверхности, поликристаллические слои, оксидные фазы, окисление**

Фоточувствительные структуры на основе  $A^{IV}B^{VI}$  широко исследуются в связи с возможностью использования их в оптоэлектронных системах экологического мониторинга, газового анализа токсичных сред и других областях. Фотосопротивления на основе нанокристаллических слоев селенида свинца обладают оптимальным набором физических параметров для детектирования излучения в ИК-области спектра. Основным достоинством этих приборов по сравнению с ранее используемыми детекторами являются высокая чувствительность и малая инерционность. Для фотосопротивлений из халькогенидов свинца также характерны малые значения прикладываемой разности потенциалов, простота эксплуатации и низкая стоимость.

Для совершенствования методов формирования как исходных, так и фоточувствительных слоев необходимо детальное исследование неоднородностей в их строении, а также модификации слоя в процессе его термической обработки. Одним из наиболее эффективных методов для оптимизации технологических режимов является метод сканирующей туннельной микроскопии (СТМ). Данный метод позволяет подробно, с высоким разрешением изучить рельеф поверхности, а также контролировать концентрацию и тип носителей заряда в зерне и анализировать его изменение [1]. С помощью методов спек-

троскопии возможно исследование электронной структуры поверхности и определение процессов, протекающих на поверхности полупроводников, что особенно важно, поскольку изготавливаемые приборы работают на воздухе при комнатной температуре.

Целью данной статьи является исследование рельефа поверхности и электронной структуры поверхности слоев на основе селенида свинца в процессе формирования фоточувствительных структур.

Исследованию подвергались исходные селенида свинца, легированные висмутом ( $N_{Bi} = 0,1 \dots 1$  ат. %), слои, окисленные на воздухе при комнатной температуре, а также слои, прошедшие кратковременную температурную обработку.

Исследования проводились в сканирующем туннельном микроскопе обычной конструкции [2] на воздухе при комнатной температуре в режиме постоянного тока. Ток стабилизации составлял 1 нА при напряжении смещения между острием и образцом 0,1...5 В полярности, при которой имеет место эмиссия электронов из острия. Острия изготавливались методом электрохимического травления при переменном напряжении 6 В из вольфрамовой проволоки ( $\phi = 0,14$  мм, 4%-й NaOH). Подробно используемые материалы и способ изготовления острия изложен в [2].

Основная идея, лежащая в основе принципа действия любого СТМ, состоит в том, что острая металлическая зонд-игла помещается настолько близко к поверхности проводящего образца, что электроны способны с помощью туннельного эффекта преодолевать вакуумный промежуток, разделяющий иглу и образец. Если между иглой и образцом приложено напряжение смещения  $U$ , то между ними течет ток, который сильно зависит от расстояния от иглы до поверхности образца. Положение иглы в пространстве с высокой точностью контролируется пьезоэлектрическим сканером, способным перемещать иглу в трех взаимно перпендикулярных направлениях. При этом расстояние между иглой и поверхностью поддерживается с очень высокой степенью точности. Таким образом, при сканировании кончик иглы повторяет рельеф поверхности. Подробно сканирующие туннельные методы в применении к конкретным технологическим задачам рассмотрены в [3].

Замечательной особенностью туннельного микроскопа является то, что с его помощью можно исследовать не только топографию поверхности образцов, но и локальное распределение электронной плотности. Локальная туннельная спектроскопия (ЛТС) позволяет получать информацию об электронных свойствах полупроводниковых материалов и структур с привязкой к особенностям топографии их поверхности. Это достигается снятием вольт-амперных характеристик (ВАХ). Ширину запрещенной зоны определяли по ширине минимума зависимости дифференциальной проводимости от напряжения смещения. Кроме того, анализ положения ВАХ относительно  $U = 0$ , а следовательно, и минимума дифференциальной проводимости позволяет определить преимущественный характер проводимости слоя в конкретной локальной области поверхности слоя.

Самым распространенным методом получения нанокристаллических слоев является метод термического испарения в вакууме, для которого известно несколько модификаций. Наиболее простой модификацией этого метода для реализации групповой технологии формирования фоточувствительных элементов является метод «взрывного испарения». Однако этот метод осуществляется в крайне неравновесных термодинамических условиях, особенно если конденсация слоев производится на холодную подложку. Для получения

более совершенных слоев используется метод горячей стенки, который обеспечивает получение слоев, характеризующихся высоким структурным совершенством. На рис. 1, *a* и *б* представлена топография участков (100×100 нм) поверхностей слоев, полученных, соответственно, методами мгновенного испарения и горячей стенки. Точками отмечены области, на которых измерялись туннельные ВАХ.

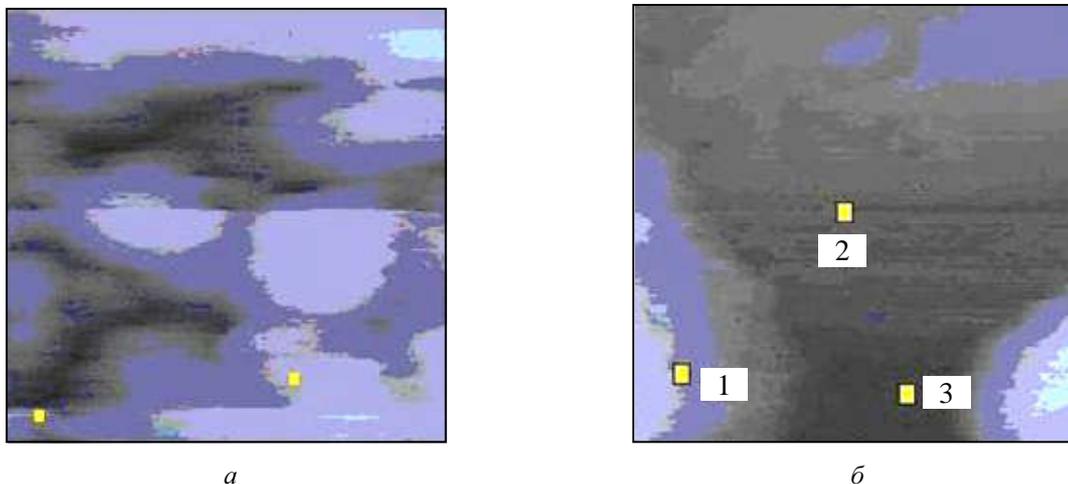


Рис. 1

Структура слоев, полученных методом взрывного испарения, отличается низким уровнем упорядоченности с размером зерен до 50 нм (рис. 1, *a*). Слои, конденсация которых осуществлялась методом горячей стенки, а следовательно, в более равновесных условиях, состоят из хорошо ограниченных кристаллитов, средний линейный размер которых составляет порядка 200 нм. На рис. 1 четко видны зерна (светлые области) и межзеренные границы (МЗГ). Следует отметить, что размер зерен зависит не только от метода формирования исходного слоя, но и от технологических режимов термического испарения в вакууме.

Наряду с изучением топографии исследовалась электронная структура поверхности пленок путем измерения вольт-амперных характеристик с заранее выбранных участков поверхности. Анализ данных, полученных методом ЛТС в разных точках исходных слоев, позволил определить, что объемным областям кристаллитов (точка 1 на рис. 1, *б*) соответствуют практически одинаковые ВАХ. На рис. 2 представлен типичный спектр ЛТМ, снятый в точке 1 (рис. 1, *б*).

По горизонтальной оси отложено напряжение на образце  $U$ , а по вертикальной оси – туннельный ток  $I$ . Такие ВАХ, как правило, сдвинуты в область отрицательных смещений, что свидетельствует об электронном типе проводимости зерен. Исследования типа проводимости методом термоЭДС подтвердили эти предположения [4]. Зависимость дифференциальной проводимости от напряжения смещения имеет широкий минимум, который позволяет определить ширину запрещенной зоны –  $\Delta E_g = 0,28$  эВ, соответствующую селениду свинца. Таким образом, исходные слои, полученные разными методами, имели одинаковый фазовый и химический состав, соответствующий исходному селениду свинца.

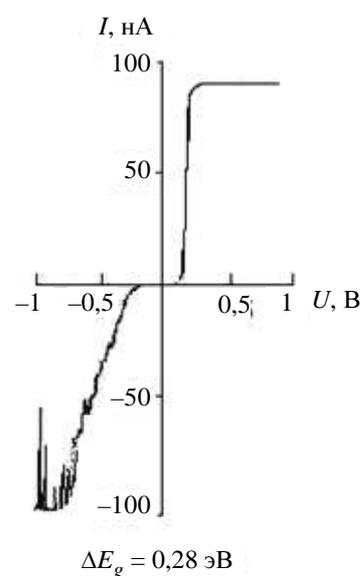


Рис. 2

Топография поверхности исходного слоя селенида свинца, легированного висмутом ( $N_{Bi} = 0,1$  ат. %), окисленного при комнатной температуре в течение 14 дней (естественно состаренные), а также слоев, прошедших кратковременную обработку при температурах  $T \leq 573$  К, не отличалась от топографии исходных слоев независимо от времени экспозиции и соответствует рис. 1. Такое ограничение по технологическим параметрам отжига связано с тем, что при более высоких температурах и длительных временах окисления образуется толстый диэлектрический слой. На рис. 3, *а* и *б* представлены спектры ЛТМ, полученные на межзеренных границах слоя, соответственно, в точках 2 и 3 (рис. 1, *б*).

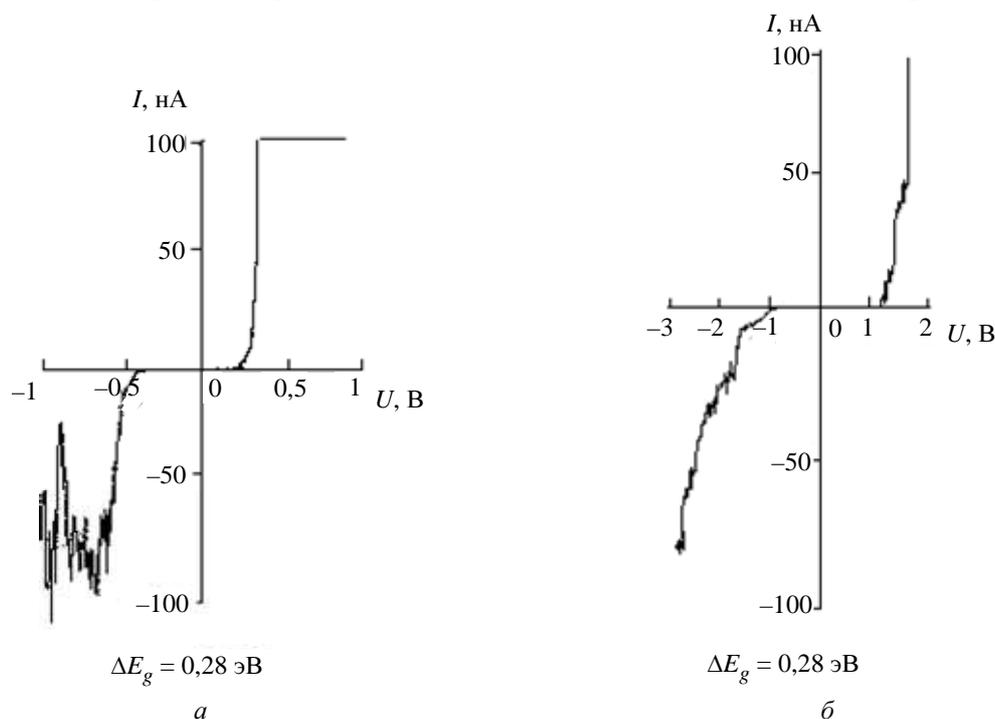


Рис. 3

Для ВАХ, снятых на зернах и в межзеренных промежутках, величина  $\Delta U$  изменяется независимо от приложенного напряжения смещения. Следовательно, электронная структура поверхности является неоднородной, что, вероятно, связано с адсорбированными молекулами и процессами окисления поверхности.

Традиционная методика снятия ВАХ методом ЛТС предусматривает отсутствие диэлектрических слоев на поверхности. При этом анализ результатов проводят, полагая, что все напряжение падает на туннельно-прозрачный воздушный зазор. Возрастание плотности поверхностных состояний в полупроводнике приводит к увеличению туннельного тока. В случае образования на поверхности полупроводника тонкого слоя туннельно-прозрачных оксидных фаз или широкозонного полупроводника физическая картина усложняется. Фактически, разница будет состоять в значениях туннельного тока. Так, если сопротивление воздушного зазора во много раз превышает сопротивление оксидного слоя, то значение туннельного тока будет ниже. Однако если сопротивление воздушного зазора во много раз превышает сопротивление оксидного слоя, то можно определить ширину запрещенной зоны оксидной фазы (широкозонного полупроводника) на поверхности исследуемых слоев. При сопоставимых значениях сопротивления часть падения напряжения будет наблюдаться и на оксидном слое, что скажется на увеличении энергетического зазора, в котором туннельный ток близок к нулю.

При тонких практически отсутствующих оксидных фазах ширина запрещенной зоны  $E_g = 0,28$  эВ в точке 1 соответствует селениду свинца. В областях межзеренных границ (точка 3 на рис. 1, б) вольт-амперные характеристики заметно отличаются друг от друга (рис. 3). Общим для них является то, что эти характеристики почти симметричны, иногда частично сдвинуты в область положительных смещений, что свидетельствует о преимущественно собственном или слабом дырочном характере проводимости слоя на межзеренных границах.

При естественном старении толщина оксида достигает нескольких монослоев, тем не менее, их сопротивление достаточно высоко (10...15 кОм) и значение ширины запрещенной зоны  $\sim 0,65$  эВ (рис. 3, а) удовлетворительно согласуется с данными по спектрам фотопроводимости, на которых наблюдается пик на 2,3 мкм, соответствующий оксидной фазе [5]. На отдельных участках межкристаллитных границ, не всегда отличающихся топографически (точка 2 рис. 1, б), в слоях, прошедших кратковременную температурную обработку, оцениваемые значения ширины запрещенной зоны составляют 2...3 эВ (рис. 3, б).

Таким образом, МЗГ представляют собой область с проводимостью, близкой к собственной, при этом значения коэффициента термоЭДС ( $\alpha = -100... -80$  мкВ/К) фиксируют высокую концентрацию электронов [4]. Инверсию типа проводимости при комнатной температуре для слоев с малым содержанием висмута фиксировали только спустя три месяца. Объяснить это противоречие можно следующим образом. Коэффициент термоЭДС для полупроводникового слоя является интегральной характеристикой всего слоя, включая поверхность, приповерхностную область и объем зерна (локальность метода 30 мкм). Локальность же острия зонда (10 нм) позволяет фиксировать изменения в концентрации, типе проводимости и фазовом составе структуры в очень узком пространственном отрезке [4].

Практически все полученные ВАХ содержали отчетливо выраженные группы максимумов, расположенных в области отрицательных смещений в области больших значений напряжения. Число и интенсивность этих максимумов растет с увеличением времени экспозиции образца в кислороде. Аналогичные особенности вольт-амперных характеристик, снятых на поверхности «естественно окисленного» Al (100), были отмечены в работе [6]. Наличие таких максимумов объясняется тем, что при комнатных температурах при малых заполнениях поверхности адсорбированный кислород группируется в малоатомные кластеры. Поскольку измерения проводились на воздухе, авторы настоящей статьи также склонны связывать полученные серии резонансных максимумов с наличием на поверхности слоев адсорбированного кислорода, который при увеличении времени экспозиции образует оксид или оксиды с основным материалом пленки. Однако не исключается возможность влияния перезарядки ловушек на поверхности полупроводника либо пробой прослойки оксида между зернами, вызывающий хаотическое изменение тока туннелирования.

Обращает на себя внимание ВАХ на рис. 3, б с характерными пиками. Однако увеличение плотности состояний в этом случае имеет место не в валентной зоне, а в зоне проводимости. Эти пики свидетельствуют о наличии в зоне проводимости квантовых ям.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Использование метода СТС позволяет с высокой точностью оценить однородность поверхности слоев селенида свинца, а также фазового и химического составов. Ширина запрещенной зоны, рассчитанная из вольт-амперных характеристик, полученных методом ЛТС для разных точек поверхности исходных слоев, соответствует ширине запрещенной зоны селенида свинца. Наличие примесей не отражается на морфологии поверх-

ности слоев. На основании проведенных ЛТС-исследований можно сделать вывод, что процессы окисления поверхности слоя происходят неравномерно. В естественно составленных образцах экспериментально наблюдаемые результаты ЛТС и оценочные значения ширины запрещенной зоны лежат в пределах от 0,28 (PbSe) до 2...3 эВ (оксидные фазы). Наблюдение поверхности методами ЛТС и СТМ было возможно даже спустя 10 месяцев после изготовления слоев, следовательно, в результате контакта с атмосферой на поверхности пленок образуется оксидный слой малой толщины (туннельно-прозрачный).

Работа выполнялась при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых кандидатов наук и их научных руководителей (код проекта МК-7842.2006.8).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыков С. А. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур. СПб.: Наука, 2001. 52 с.
2. Владимиров Г. Г., Дроздов А. В., Резанов А. Н. Влияние физико-химических свойств материала острия на модификацию поверхности импульсом напряжения в сканирующем туннельном микроскопе // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26, вып. 9. С. 36–40.
3. Мошников В. А., Федотов А. А., Румянцев А. И. Современные методы сканирующей зондовой микроскопии в микро- и нанoeлектронике. Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. 84 с.
4. Фоточувствительные структуры на основе поликристаллических слоев селенида свинца / Н. В. Голубченко, М. А. Иошт, В. А. Мошников, Д. Б. Чеснокова // Перспективные материалы. 2005. № 3. С. 31–35.
5. Марголин И. А., Румянцев Н. П. Основы инфракрасной техники. М.: Военное изд-во Минобороны СССР, 1957. 307 с.
6. Шуб Б. Р. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия поверхностных комплексов // Проблемы и достижения физико-химической и инженерной науки в области материаловедения: Тр. Седьмой сессии. М., 2002 / ГНЦ РФ НИФХИ им. Л. Я. Карпова. М., 2002. С. 114–115.

*N. V. Golubchenko, M. A. Iosht, V. A. Moshnikov*

#### *SCANNING TUNNELING MICROSCOPY INVESTIGATION OF LAYERS ON THE BASIS OF PBSE*

*The obtained LTM AND STM data show the microstructure of formed layers and help to observe the surface oxide formation while oxidation at room temperature.*

**Topography, lead selenide, polycrystalline layers, oxides, room temperature oxidation**

УДК 621.383.8

*Н. Перес*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ В ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ СИГНАЛ**

*Исследован аналоговый метод преобразований импульсов тока в пропорциональные оптические сигналы светодиодного излучателя с целью анализа точности измерений работанного высоковольтного импульсного амперметра для рентгеновского производства.*

**Изолирующий усилитель, оптическая развязка, отрицательная обратная связь, преобразование тока, линейность преобразования, динамический диапазон**

Несколько лет назад в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» был разработан импульсный цифровой амперметр, предназначенный для испытательных рентгеновских установок, способный измерять токи от 20 мА до 1 А под напряжением свыше 100 кВ [1]. В данном приборе опытным путем были подобраны элементы схемы, позволившие преодолеть возникновение таких эффектов, как самовозбуждение и искажение сигнала. Возросшие требования к качеству изготовления рент-

геновских приборов потребовали проведения строгой метрологической аттестации разработанного прибора. Для этого были предприняты исследования тех факторов, которые влияют на точность преобразования электрических импульсов тока в пропорциональный оптический сигнал и затем снова в электрический сигнал. К таким факторам относятся:

- затухание сигнала при передаче по оптоволоконной линии связи;
- линейность преобразования измеряемого тока в оптический сигнал;
- искажение при детектировании и усилении;
- погрешность аналого-цифрового преобразования;
- температурная стабильность всех блоков амперметра.

Их изучение позволит установить максимально возможную погрешность амперметра и провести его дальнейшую модернизацию с целью повышения точности и воспроизводимости измерений.

В предыдущей версии прибора ток в высоковольтной цепи мог измеряться в пределах от 50 мА до 1,2 А. Наряду с контролем амплитуды и длительности импульсов тока прибор позволял контролировать с помощью осциллографа форму тока в цепи высокого напряжения. Производство отдельных рентгеновских трубок потребовало снижения нижнего порога измерений до 5 мА, сохраняя при этом верхний порог на достаточно высоком уровне, порядка 500 мА. Для этих целей разработана схема изолирующего усилителя с отрицательной обратной связью, осуществляемой по оптическому пути. Принципиальная схема изолирующего усилителя с аналого-оптическим преобразователем изображена на рис. 1.

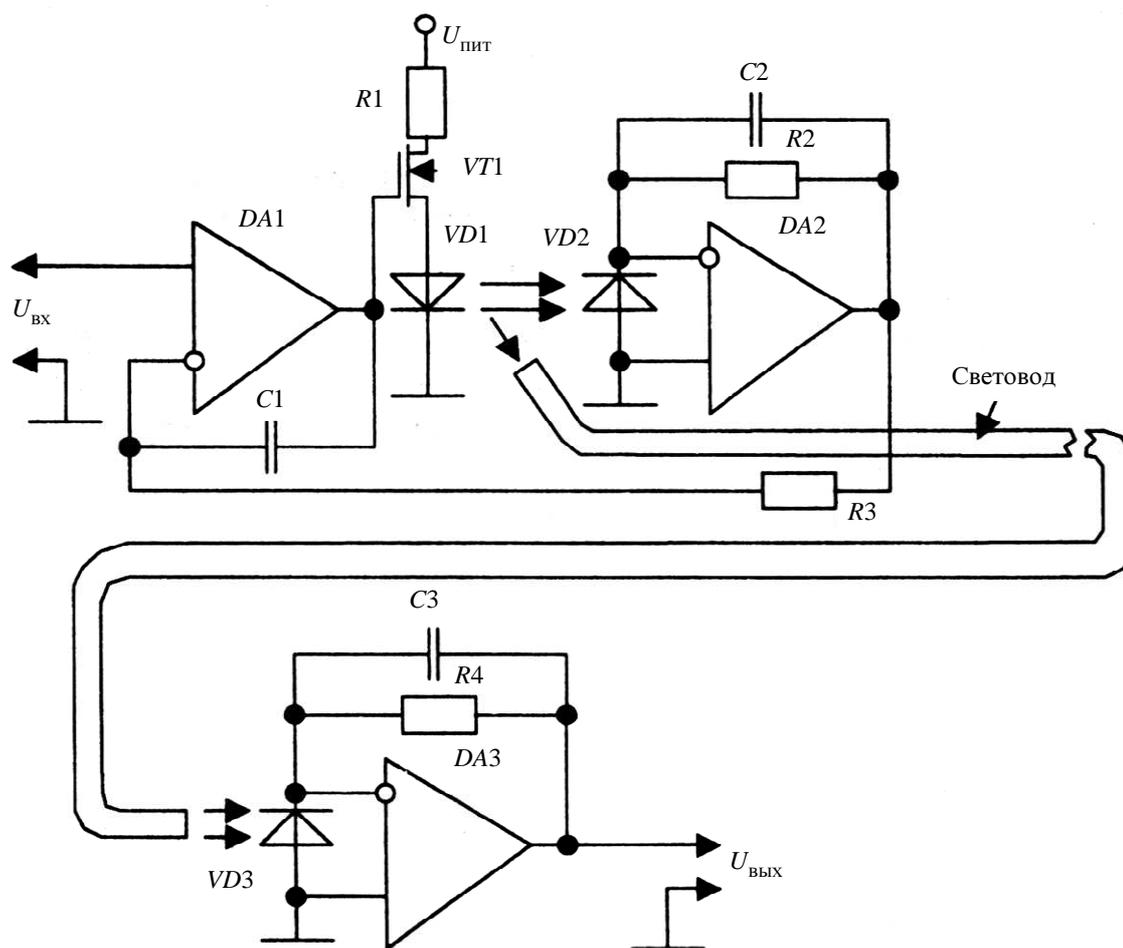


Рис. 1

На вход усилителя  $DA1$  подается напряжение, которое необходимо преобразовать в оптическое излучение светодиода  $VD1$ . Отрицательная обратная связь осуществляется через световой поток и с помощью преобразователя ток–напряжение  $DA2$ . Преобразователем светового потока в ток является фотодиод  $VD2$ , наклеенный на заднюю поверхность излучающего светодиода  $VD1$ . Задачей такой обратной связи является получение линейной зависимости лучистого потока  $VD1$  от входного напряжения  $U_{вх}$ . Полученное таким образом излучение, несущее информацию о входном напряжении, передается по световоду из высоковольтной цепи, преобразуется далее в электрический сигнал с помощью  $VD3$  и усилителя  $DA3$ .

Надо отметить, что было необходимо вводить элементы, препятствующие самовозбуждению усилителя и повышающие его помехозащищенность. Такими элементами являются конденсаторы  $C1$  и  $C2$  (рис. 1).

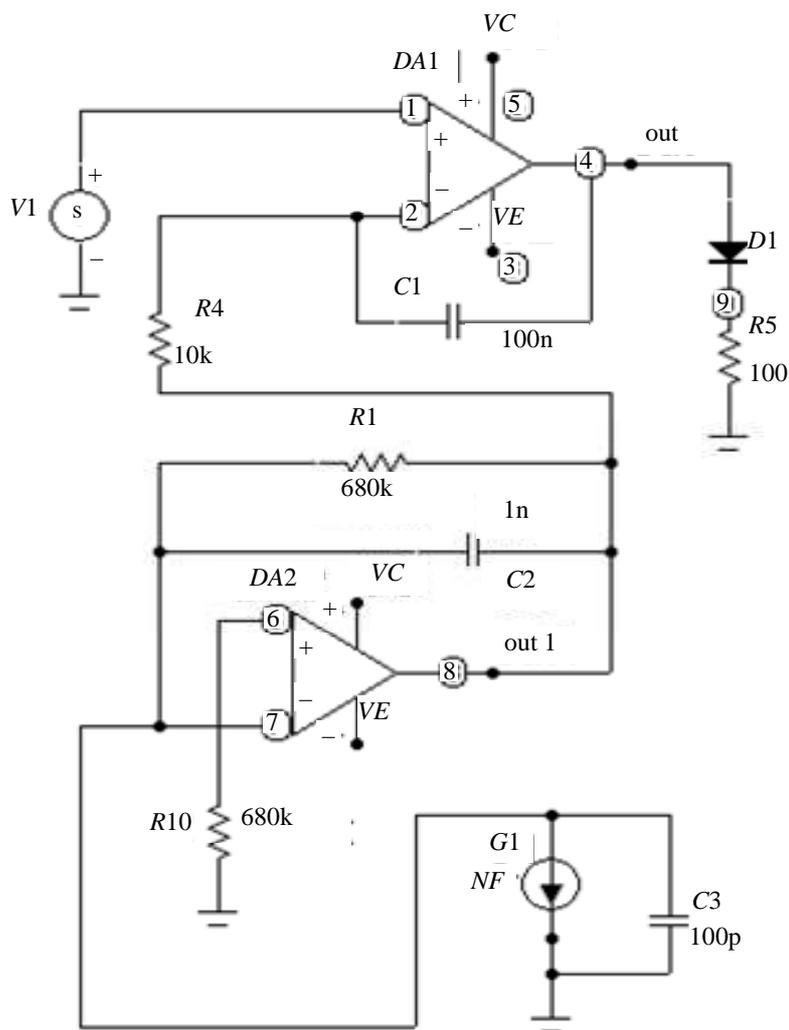


Рис. 2

Однако при этом происходит ухудшение частотных свойств усилителя – конденсатор  $C1$  искажает фронт сигнала, подаваемого на светодиод, а конденсатор  $C2$  затягивает фронт сигнала обратной связи. Это может привести к существенным искажениям передаваемого сигнала и снизить точность измерений амплитуды импульсов тока.

Для теоретического анализа влияния элементов схемы на форму выходного сигнала была создана модель данного изолирующего усилителя с эмуляцией оптической обратной связи и проанализированы различные варианты изменения выходного сигнала в зависи-

мости от параметров элементов схемы с применением специализированной программы моделирования электрических схем «MicroCap 7.0».

Эквивалентная схема усилителя представлена на рис. 2. Функциональный источник тока  $G1$  эмулирует фотодиоды оптической обратной связи. Сила тока источника  $G1$  пропорциональна выходному сигналу усилителя  $U_{out}$  с некоторым коэффициентом ( $K_{ООС}$ ) отрицательной обратной связи (ООС), который в данном случае будет определять уровень ООС, случайно зависящий от того, каким образом расположен фотодиод обратной связи.

Источник  $V1$  подает на вход усилителя последовательность прямоугольных импульсов частотой 5 Гц. В процессе исследования параметры всех элементов схемы, кроме емкостей  $C1$ ,  $C2$  и коэффициента обратной связи  $K_{ООС}$  оставались постоянными.

Таким образом, анализировалось влияние значений  $C1$  и  $C2$  на форму выходного сигнала при различных  $K_{ООС}$ . Во время исследований задавались значения двух параметров (коэффициента  $K_{ООС}$  и одной из емкостей) и подбиралось максимальное значение другой емкости, при котором отсутствовали искажения сигнала на выходе схемы.

Экспериментально было установлено, что емкости  $C1$  и  $C2$  оказывают противоположное влияние на выходной сигнал. Если увеличение емкости  $C2$  приводит к запаздыванию ООС и возникновению колебательного процесса, то емкость  $C1$  позволяет «сгладить» эти колебания.

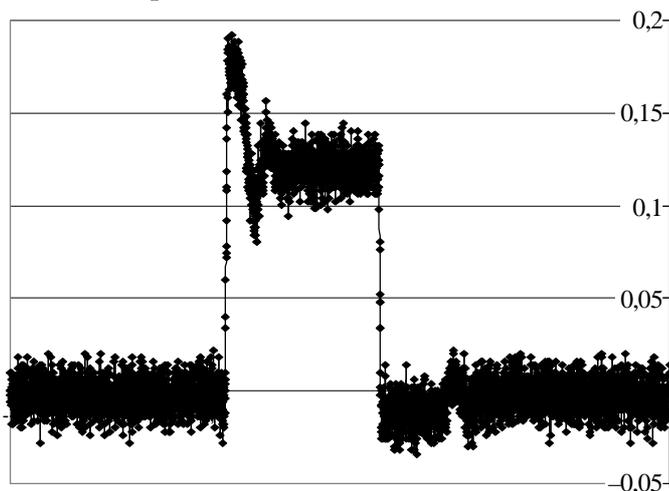


Рис. 3

На рис. 3 представлены оциллограммы выходного сигнала ( $C_1 = 100$  нФ,  $C_2 = 10$  нФ). Данные результаты полностью соответствуют результатам математического моделирования и наблюдаются те же колебания сигнала, что и при теоретическом исследовании. Это позволяет высказать предположение о том, что возможно существование некоторого соотношения, в которое входят значения  $C1$ ,  $C2$  и  $K_{ООС}$ , при выполнении которого можно получить минимальные искажения сигнала. Были промоделированы несколько вариантов схем с различными параметрами, для каждой из которых одна из емкостей задавалась постоянной ( $C1$  или  $C2$ ), изменялся  $K_{ООС}$  и подбиралось граничное значение другой емкости, при котором практически исчезали искажения сигнала.

В результате было установлено, что при небольших значениях  $K_{ООС}$  практически постоянным остается результат следующего соотношения:

$$K = K_{ООС} \cdot C_2 / C_1.$$

Учет вышеперечисленных факторов позволил добиться высокой линейности преобразования электрического сигнала в излучение светодиода.

На рис. 4 представлен график передаточной характеристики усилителя (сплошная линия), которая демонстрирует полученную линейность светового потока светодиода при наличии ООС, и передаточной характеристики усилителя без ООС (штриховая линия).

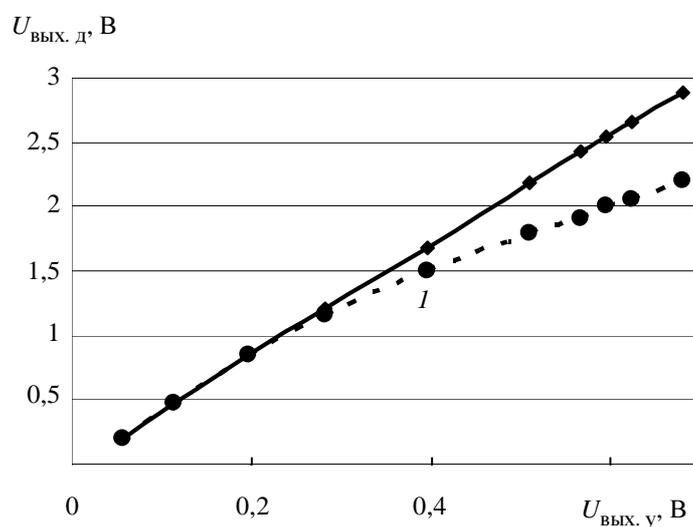


Рис. 4

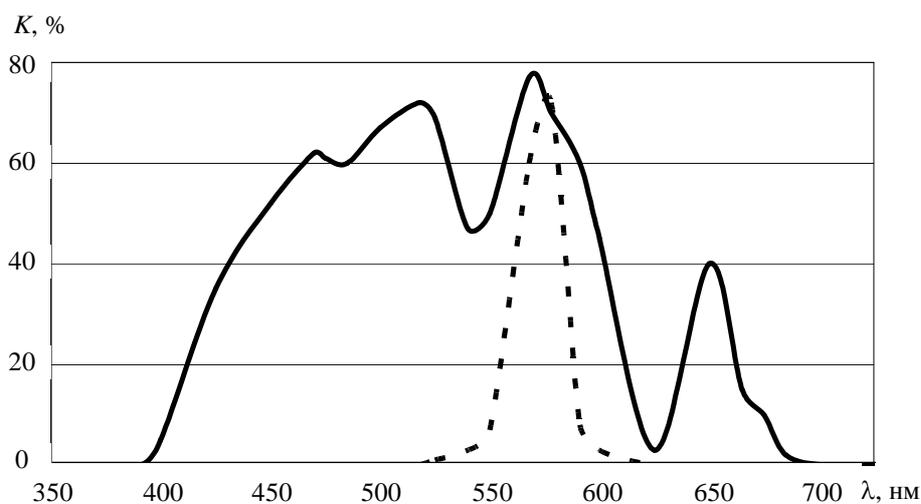


Рис. 5

Достоверность аппроксимации линейным трендом составила при этом  $R^2 = 0.9997$ .

Для определения реальной погрешности, к которой может привести изменение температуры окружающей среды, бухта оптоволокну сначала нагревалась до температуры  $+35\text{ }^\circ\text{C}$ , при которой прибор калибровался специальным калибровочным импульсом, а затем оптоволокну помещалось в среду с температурой  $+8\text{ }^\circ\text{C}$ . В результате был найден температурный коэффициент дрейфа показаний прибора  $[\% / ^\circ\text{C}]$ , обусловленный колебаниями температуры оптоволокну:

$$\left(\frac{\Delta I}{I}\right) / \Delta t \approx \frac{0.08}{1}.$$

Поскольку колебания температуры в производственном помещении обычно не выходят за пределы  $\pm 5^\circ\text{C}$ , то, очевидно, они не внесут существенной ошибки в работу прибора.

Снижение порогового значения измеряемого тока до 5 мА было получено путем уменьшения потерь мощности в оптоволокне (полиметилакрилат). Для этого был подобран светодиод (HB10B-433DGSA) с длиной волны излучения в области 550...600 нм, где прозрачность волокна максимальна. На рис. 5 изображен график, показывающий коэффициент пропускания оптоволокна (сплошная линия) и излучательную способность светодиода (штрих).

В результате исследований были подтверждены высокие метрологические качества импульсного амперметра, а проведенные заводские испытания прибора показали, что его работоспособность и точность измерений сохраняются при нахождении измерительного модуля под потенциалом 200 кВ и более.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Куликов Н. А., Перес Н. Импульсный амперметр с изоляцией на 100 кВ // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. ФТТиЭ. 2003. № 2. С. 46–49.

*N. Perez*

*RESEARCH OF FACTORS THAT INFLUENCE THE PRECISION OF TRANSFORMATION OF ELECTRICAL IMPULSES TO PROPORTIONAL OPTICAL SIGNAL.*

*Analog method of current impulses in to the proportional optical signal transformation is investigated for the purpose of precision measure of the high-voltage pulse ammeter analysis for x-ray manufacture.*

**Isolating amplifier, optical isolator, negative feedback, current transformation, linearity transformation, dynamic range**

УДК 621.3:621.37

*В. В. Пинаев, Е. В. Жуков*

### **МЕТОДИКА ГРАДУИРОВКИ ИГОЛЬЧАТОГО НАТЕКАТЕЛЯ В УСТАНОВКЕ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ**

*Разработана методика градуировки игольчатого натекателя в установке вакуумного напыления УВН, позволяющая перевести относительные единицы потока (обороты натекателя) в стандартные единицы потока ( $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$ ).*

**Реактивное распыление, натекатель, поток газа**

Реактивное магнетронное распыление широко используют для осаждения тонких пленок соединений различных металлов [1]–[3]. Данный метод характеризуется повышенной чувствительностью к такому независимому параметру процесса, как входной поток (массовый расход) реактивного газа  $Q_0$  [4], [5].

В типовых установках вакуумного напыления типа УВН ввод в вакуумную камеру рабочих газов производят игольчатым натекателем. Он имеет нониус, по которому устанавливают его проводимость. Однако значения шкалы нониуса никак не связаны со значением потока газа, который вводится через натекатель. Для определения этой величины была разработана методика градуировки натекателя, основанная на измерении временных зависимостей давления. Суть этой методики состоит в следующем: при каждом положении натекателя  $n$  (выражаемом в количестве оборотов) за счет дросселирования откачки

затвором, в камере устанавливают заданное значение начального давления  $p_0$ . После этого натекаТЕЛЬ резко закрывают и снимают кривую откачки до достижения предельного давления при данном положении затвора. Из полученных зависимостей графически находят решение уравнения, которое позволяет определить значение входного потока газа.

В стационарном режиме при дросселировании откачки затвором давление в камере определяют в виде [6]:

$$p_0 = Q / S, \quad (1)$$

где  $Q$  – входной поток газа в камеру,  $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$ ;  $S$  – быстрота откачки камеры,  $\text{м}^3 / \text{с}$ .

В свою очередь, входной поток газа  $Q$  является суммой двух потоков:

$$Q = Q_{\text{ВХ}} + Q_0, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{ВХ}}$  – паразитный входной поток в камеру;  $Q_0$  – поток газа через натекаТЕЛЬ.

Известно [7], что давление в камере после закрытия натекаТеля будет изменяться по закону

$$p(t) = Q_{\text{ВХ}} / S + (p_0 - Q_{\text{ВХ}} / S) e^{-t/\tau}, \quad (3)$$

где  $V$  – объем вакуумной камеры;  $\tau$  – постоянная времени откачки, определяемая как

$$\tau = V / S. \quad (4)$$

Логарифмируя уравнение (3), получаем:

$$\ln \left[ \left( p(t) - \frac{Q_{\text{ВХ}}}{S} \right) / \left( p_0 - \frac{Q_{\text{ВХ}}}{S} \right) \right] = -t/\tau.$$

При  $t = \tau$  приходим к выводу, что

$$\frac{p(\tau) - p_{\text{пр}}}{p_0 - p_{\text{пр}}} = 0.37, \quad (5)$$

где  $p_{\text{пр}}$  – предельное давление, которое может быть достигнуто в камере:

$$p_{\text{пр}} = Q_{\text{ВХ}} / S = p(t) \Big|_{t \rightarrow \infty}. \quad (6)$$

Таким образом, задача определения  $Q_0$  может быть решена:

- 1) определением постоянной времени  $\tau$  с помощью уравнения (5) и экспериментальных кривых откачки;
- 2) вычислением быстроты откачки камеры  $S$  из уравнения (4) и паразитного входного потока газа  $Q_{\text{ВХ}}$  по уравнению (6);
- 3) вычислением суммарного потока газа  $Q$  из уравнения (1) и потока газа через натекаТЕЛЬ  $Q_0$  с помощью уравнения (2).

В проведенных экспериментах значения  $n$  изменяли в диапазоне от 2.5 до 3.5 оборотов. Для того чтобы выявить случайную ошибку эксперимента, его проводили при разном начальном давлении  $p_0 = 0.5, 1, 1.3$  Па. Объем вакуумной камеры  $0.076 \text{ м}^3$ .

На рис. 1 приведены нормированные экспериментальные кривые откачки, полученные после закрытия натекаТеля при начальном давлении 1.3 Па и разных положениях натекаТеля. Штриховой линией, соответствующей уровню 0.37, показано графическое решение уравнения (5). Результаты решения уравнения (5) для всех условий эксперимента сведены в табл. 1.

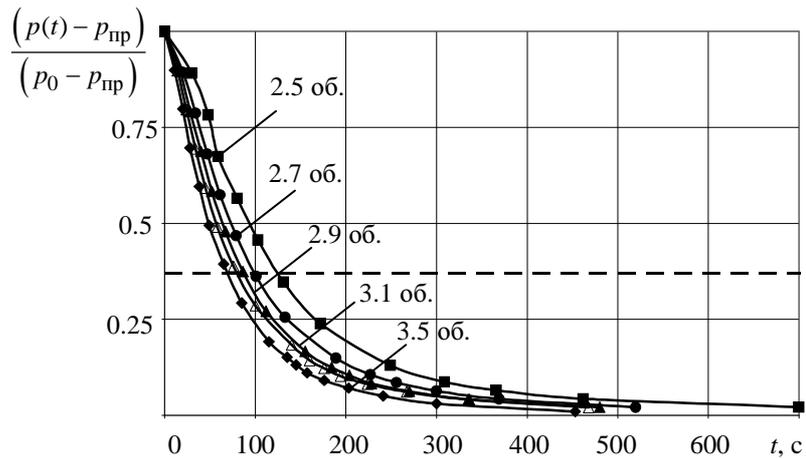


Рис. 1

Таблица 1

$p_0$ , Па	$n$ , об.				
	2.5	2.7	2.9	3.1	3.5
0.5	63	53	46	46	41
1	94	83	75	66	56
1.3	124	99	87	80	69

Результаты расчетов по пп. 2 и 3 предложенной методики представлены в табл. 2.

Таблица 2

$p_0$ , Па	$n$ , об.	$S \cdot 10^{-3}$ , м <sup>3</sup> /с	$p_{пр}$ , Па	$Q_{вх} \cdot 10^{-4}$ , м <sup>3</sup> ·Па/с	$Q_0 \cdot 10^{-4}$ , м <sup>3</sup> ·Па/с
0.5	2.5	1.21	0.03	0.32	6.10
	2.7	1.43	0.01	0.19	7.44
	2.9	1.65	0.01	0.22	8.57
	3.1	1.65	0.01	0.11	8.68
	3.5	1.85	0.01	0.12	9.74
1	2.5	0.81	0.08	0.65	7.96
	2.7	0.92	0.05	0.49	9.26
	2.9	1.01	0.03	0.27	10.51
	3.1	1.15	0.01	0.15	12.10
	3.5	1.36	0.01	0.09	14.35
1.3	2.5	0.61	0.11	0.65	7.50
	2.7	0.77	0.08	0.61	9.60
	2.9	0.87	0.05	0.46	11.15
	3.1	0.95	0.03	0.25	12.38
	3.5	1.10	0.01	0.15	14.50

В табл. 3 приведен средний входной поток, вычисленный по данным табл. 2.

Таблица 3

$n$ , об.	2.5	2.7	2.9	3.1	3.5
$Q_0 \cdot 10^{-4}$ , м <sup>3</sup> ·Па/с	7.89	10.17	11.51	13.07	15.14

Таким образом, разработана методика градуировки игольчатого натекателя, позволяющая перевести относительные единицы потока (обороты) в стандартные единицы потока ( $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$ ). Получено, что 0.1 обороту натекателя в диапазоне от 2.5 до 3.5 оборотов соответствует  $(5.97 \pm 1.73)10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$ .

Исследования проводятся при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 07-03-00543-а).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rama R. N., Chandramani R., Mohan R. G. Tantalum oxide films prepared by unbalanced reactive magnetron sputtering // J. of Materials Science Letters. 1999. Vol. 18, № 23. P. 1949–1951.
2. Fe-doped photocatalytic TiO<sub>2</sub> film prepared by pulsed dc reactive magnetron sputtering / W. Zhang, Y. Li, S. Zhu, F. Wang // J. Vac. Sci. Technol. A. 2003. Vol. 21, № 6. P. 1877–1882.
3. Aluminium atom density and temperature in a dc magnetron discharge determined by means of blue diode laser absorption spectroscopy / M. Wolter, H. T. Do, H. Steffen, R. Hippler // J. Phys. D: Appl. Phys. 2005. Vol. 38. P. 2390–2395.
4. Berg S., Blom H.-O., Moradi M. Process modeling of reactive sputtering // J. Vac. Sci. Technol. A. 1989. Vol. 7. P. 1225–1229.
5. Joes F., Logan J. J. High-rate reactive sputter deposition of aluminium oxide // Vac. Sci. Technol. A. 1989. Vol. 7, № 3. P. 1240–1247.
6. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. М.: Мир, 1964.
7. Пипко А. И., Плисковский В. Я, Пенчко Е. А. Конструирование и расчет вакуумных систем. М.: Энергия, 1970.

V. V. Pinaev, E. V. Zhukov

#### *THE PROCEDURE OF CALIBRATION A LEAK VALVE IN REACTIVE SPUTTERING METHOD*

*The procedure of calibration a leak valve in vacuum coater was done. It allows to translate the relative values of gas flow in standard values  $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$ .*

**Reactive sputtering, leak valve, gas flow**



УДК: 658.562

С. А. Степанов

## **ТИПОВАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ**

*Рассматриваются вопросы создания в образовательных учреждениях систем качества. Предложена типовая модель системы качества образовательного учреждения, описана структура типовой модели. Представлен пример реестра типовых процессов и видов деятельности образовательного учреждения.*

**Образовательные учреждения высшего профессионального образования, гарантии качества образования, система качества образовательного учреждения, стандарты и директивы для гарантии качества образования, Европейская сеть гарантии качества (ENQA) в сфере высшего образования**

Качество образования имеет определяющее значение для успешного развития любой страны, в особенности России, в наступившем веке. Революционное изменение технологий, опирающихся на высочайший уровень интеллектуальных ресурсов и связанная с этим геополитическая конкуренция ведущих стран мира за такие ресурсы, становится важнейшим фактором, определяющим не только экономику, но и политику нового века. Безусловно, такая глобальная проблема не может решаться на уровне отдельно взятого образовательного учреждения (ОУ), она требует целенаправленных и скоординированных усилий государства, общества и каждого отдельного ОУ. В Российской Федерации система требований к качеству образования формулируется на уровне национальной системы качества образования и регламентируется требованиями государственными образовательными стандартами (ГОС), а также требованиями по лицензированию и аккредитации ОУ. Формальное представление требований национальной системы качества образования выражается в виде показателей государственной аккредитации. В настоящее время в перечень показателей аккредитации включен, в частности, и показатель 1.2.3 «Эффективность внутривузовской системы обеспечения качества образования» (приказ Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки № 1938 от 30.09.2005 г.). По существу, оценка этого показателя должна базироваться на анализе наличия системы обеспечения качества или системы гарантий качества в ОУ. Этот факт напрямую обязывает каждое образовательное учреждение приступить к соз-

данию такой системы, которую в дальнейшем будем называть системой качества (СК) образовательного учреждения. Как показывает мировой опыт, СК ОУ обеспечивает внутренние механизмы гарантии качества образования.

СК ОУ является частью системы менеджмента организации и направлена на достижение результатов в соответствии с целями в области качества, чтобы удовлетворять потребности, ожидания и требования потребителей и других заинтересованных сторон.

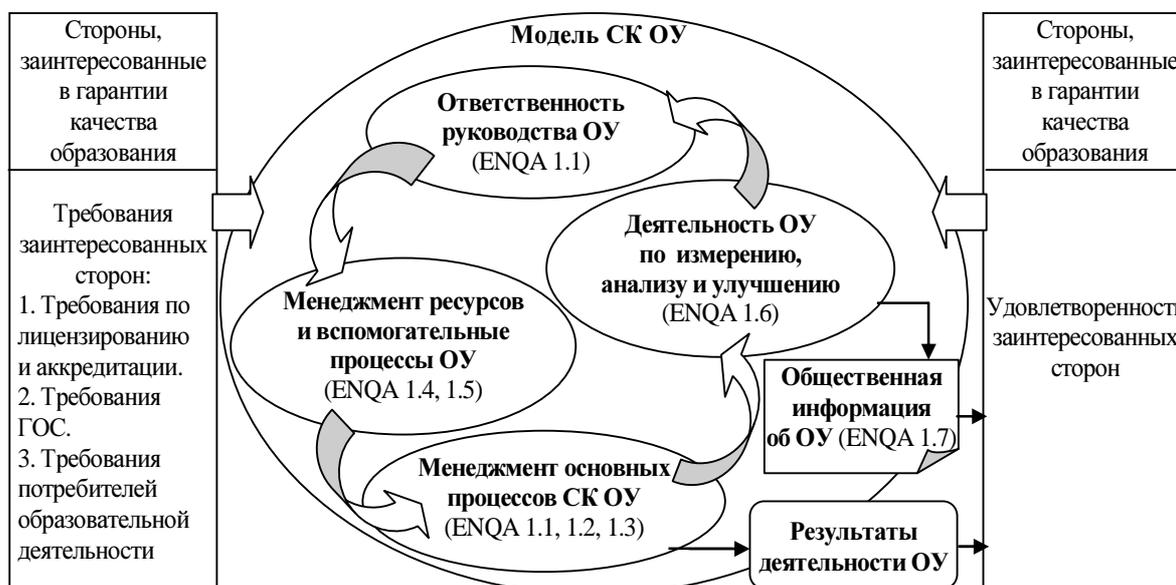
Цели в области качества дополняют другие цели ОУ, связанные с развитием, финансированием, рентабельностью, окружающей средой, охраной труда и безопасностью жизнедеятельности. Различные части системы менеджмента ОУ могут быть интегрированы вместе с СК в единую систему менеджмента, использующую общие элементы.

СК ОУ является основой постоянного улучшения процессов ОУ и предназначена для практической реализации стратегии ОУ по улучшению качества образования и других видов деятельности с целью повышения удовлетворенности потребителей: обучаемых, их семей, работодателей, государства и общества в целом.

В соответствии с «Кратким терминологическим словарем в области управления качеством образования» [1] под СК ОУ понимается «система для разработки политики и целей и достижения гарантий качества ОУ».

В основу типовой модели СК ОУ положены:

- Требования государственных органов по лицензированию, аттестации и государственной аккредитации образовательных учреждений.
- «Стандарты и директивы для гарантии качества высшего образования в Европейском регионе» Европейской ассоциации по гарантиям качества в высшем образовании (European Association for Quality Assurance in Higher Education (ENQA): Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area), доступно на сайте <http://www.enqa.net>.
- Требования и рекомендации международных стандартов серии ISO 9000:2000 (ГОСТ Р ИСО 9001–2001, ГОСТ Р ИСО 9004–2001).
- Модель «Совершенствования деятельности вуза» (разработанная в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в 2004 г. обобщенная типовая модель СК ОУ представлена на рисунке) [2].



Предлагаемая модель в целом соответствует Стандартам и директивам ENQA, а также требованиям процессной модели системы менеджмента качества, принятой в стандартах серии ISO 9000:2000 (ГОСТ Р ИСО 9000–2001), и представляет собой упорядоченную совокупность рекомендаций, которые могут применяться для общего руководства ОУ с целью гарантии качества образования и его улучшения. Эти рекомендации не предполагают строгого их исполнения и не должны интерпретироваться как предписание, не подлежащее изменениям по форме или составу. Реализация модели направлена на обеспечение гарантий качества результатов образовательной, научной и иных видов деятельности ОУ.

В тех случаях, когда типовая модель затрагивает области, которые регламентируются требованиями ГОС, органов лицензирования, аттестации и аккредитации, стандартами и директивами ENQA, образовательное учреждение должно гарантировать, что надлежащие механизмы гарантии качества действуют и доступны для независимой экспертизы.

Модель включает шесть взаимосвязанных и взаимодействующих групп рекомендаций и требований (компонентов) к различным аспектам деятельности ОУ, которые отражены в соответствующих разделах типового руководства по качеству ОУ [3]:

1. *Деятельность руководства в системе качества* – деятельность руководства, включающая совокупность организационных мероприятий в рамках СК ОУ, а также разработку политики и целей в области качества.

2. *Документирование системы качества ОУ* определяет основные документы СК ОУ, требования к их содержанию и построению.

3. *Менеджмент основных процессов системы качества ОУ.*

4. *Менеджмент ресурсов и обеспечивающих процессов* обеспечивает функционирование всех остальных групп компонентов.

5. *Деятельность ОУ по измерению, анализу и улучшению* является составной частью всех остальных процессов и видов деятельности.

6. *Информирование общества.*

Образовательное учреждение должно разработать, задокументировать, внедрить и поддерживать в рабочем состоянии систему качества, постоянно улучшать ее результативность и эффективность. Для этого образовательное учреждение прежде всего должно:

а) определить процессы и виды деятельности, необходимые для СК, и их применение во всей организации;

б) определить измеряемые характеристики и показатели качества процессов и их результатов, их целевые значения, а также критерии и методы их анализа, необходимые как для обеспечения результативности этих процессов, так и при управлении этими процессами;

в) обеспечивать наличие ресурсов и информации, необходимых для поддержки этих процессов и их мониторинга;

г) осуществлять мониторинг, измерение и анализ выделенных процессов;

д) принимать меры, необходимые для достижения запланированных результатов (целевых значений показателей) и постоянного улучшения этих процессов.

В целом в СК ОУ могут применяться следующие формы управления: организационно-распорядительная; функциональная; процессная; проектная.

Основное отличие функционального подхода от процессного подхода заключается в следующем:

1. Деятельность в рамках процесса производит продукт, характеристики которого полностью определены внутренним или внешним потребителем, и эти характеристики непрерывно измеряются с одновременной оценкой удовлетворенности потребителя результатами.

**Пример реестра типовых процессов и видов деятельности ОУ**

№ п/п	Вид деятельности или процесс	Идент. №
<b>1</b>	<i>Деятельность руководства в СК ОУ</i>	
<b>1.1</b>	Стратегия, политика и цели в области качества	
<b>1.2</b>	Планирование и развитие СК ОУ	
<b>1.3</b>	Распределение ответственности и полномочий	
<b>1.4</b>	Подготовка к лицензированию, аттестации и аккредитации	
<b>1.5</b>	Анализ СК ОУ со стороны руководства	
<b>1.6</b>	Информирование общества	
<b>1.7</b>	Финансирование СК ОУ	
<b>2</b>	<b>Типовые процессы образовательного учреждения</b> <i>Основные процессы научно-образовательной деятельности ОУ</i>	
<b>2.1*</b>	Маркетинг	
<b>2.2*</b>	Проектирование и разработка образовательных программ	
<b>2.3</b>	Довузовская подготовка	
<b>2.4*</b>	Прием студентов	
<b>2.5*</b>	Реализация основных образовательных программ	
<b>2.6*</b>	Воспитательная и внеучебная работа с обучаемыми	
<b>2.7</b>	Проектирование программ дополнительного образования	
<b>2.8</b>	Реализация программ дополнительного образования	
<b>2.9</b>	Подготовка кадров высшей квалификации (аспирантура, докторантура)	
<b>2.10*</b>	Научные исследования и разработки	
<b>2.11</b>	Инновационная деятельность	
<b>2.12</b>	Международная деятельность	
<b>3</b>	<i>Обеспечивающие процессы СК ОУ</i>	
<b>3.1*</b>	Управление персоналом	
<b>3.2*</b>	Управление образовательной средой	
<b>3.3</b>	Редакционно-издательская деятельность	
<b>3.4*</b>	Библиотечное и информационное обслуживание	
<b>3.5</b>	Управление информационной средой	
<b>3.6*</b>	Управление закупками	
<b>3.7*</b>	Управление инфраструктурой	
<b>3.8</b>	Управление производственной средой	
<b>3.9</b>	Обеспечение безопасности жизнедеятельности (БЖД)	
<b>3.10</b>	Социальная поддержка студентов и сотрудников ОУ	
<b>4</b>	<i>Измерение, анализ и улучшение в рамках основных и обеспечивающих процессов</i>	
<b>4.1</b>	Мониторинг, измерение и анализ процессов	
<b>4.2</b>	Управление несоответствиями	
<b>4.3</b>	Улучшение процессов	

2. Функциональное подразделение в своей деятельности реализует сформулированную для него функцию, не ориентируясь при этом на потребителя, и отчетывается перед своим руководством и смежными подразделениями.

Процессные формы управления, как наиболее ресурсно-затратные, применяются только в случае четкой идентификации внутренних или внешних потребителей, а также формализации их требований и организации непрерывной системы измерения характеристик.

В рамках типовой модели СК ОУ предлагаемый реестр процессов и видов деятельности ОУ представлен в таблице, при этом деятельность по измерению, анализу и улучшению является составной частью всех процессов системы качества ОУ.

Идентификационный номер процесса (вида деятельности), приводимый в первом столбце таблицы, является уникальным именем этого процесса в СК ОУ, на которое можно ссылаться в соответствующих информационных картах процесса, документированных процедурах (ДП), положениях, регламентах, рабочих инструкциях и других документах СК, связанных с этим процессом. Тем не менее, каждому процессу может быть присвоен и другой номер идентификации исходя из собственных соображений.

В структуре процессов системы качества выделен ряд процессов, которые образуют так называемое инвариантное ядро типовой модели СК ОУ (т. е. процессы, которые должны существовать в любом ОУ). В таблице такие процессы и виды деятельности, входящие в инвариантное ядро типовой модели, отмечены звездочками.

Деятельность и процессы, входящие в инвариантное ядро типовой модели, подлежат обязательной проверке при оценке выполнения в ОУ показателя 1.2.3 государственной аккредитации «Эффективность внутривузовской системы обеспечения качества образования».

Для распространения опыта по гарантиям качества в образовании были разработаны документы [1]–[4], которые послужили научно-практической основой для создания и внедрения СК в образовательных учреждениях на базе ТМ СК ОУ, а также их внешней оценки экспертами-аудиторами в процессе комплексной проверки ОУ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краткий терминологический словарь в области управления качеством высшего и среднего профессионального образования // В. В. Азарьева, О. А. Горленко, В. М. Григорьев и др. СПб.: ПИФ.com, 2007.
2. Методические рекомендации по внедрению типовой модели системы качества образовательного учреждения // В. В. Азарьева, В. И. Круглов, Д. В. Пузанков и др. СПб.: ПИФ.com, 2007.
3. Руководство по качеству (типовое) для вузов и ссузов // В. В. Азарьева, В. И. Круглов, В. С. Соболев и др. СПб.: ПИФ.com, 2007.
4. Методика проведения оценки СК ОУ экспертами-аудиторами при проведении аттестации и государственной аккредитации // В. В. Азарьева, В. И. Круглов, Д. В. Пузанков и др. СПб.: ПИФ.com, 2007.

*S. A. Stepanov*

### *THE SAMPLE QUALITY SYSTEM MODEL IN ENGINEERING UNIVERSITY*

*The issues of building up quality system in educational institutions are considered. The sample quality system model of educational institutions is given; the sample model structure is described. The set of sample processes and activities of educational institutions is presented.*

**Universities and colleges, Quality Assurance in Education, educational institution Quality System, European Network for Quality Assurance in Higher Education (ENQA), Standards and Guidelines for quality assurance in the European Higher Education Area, assessment, assessment of an educational institution Quality System**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИ-ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ЭКОНОМИКИ

*Посвящена использованию аналитически-численного метода Ю. А. Бычкова для решения задач нелинейной экономической динамики. Рассматривается широко применяемая в экономике, биологии и социологии модель Лотки–Вольтерра с последствием. На примере данной модели демонстрируется эффективность метода Ю. А. Бычкова для решения задач экономической динамики.*

### **Аналитически-численный метод, модель Лотки–Вольтерра с последствием, нелинейная динамика экономических систем**

В последние годы внимание экономистов все больше привлекает изучение нелинейной динамики экономических систем. На экономических факультетах университетов читаются специальные курсы по синергетической экономике или нелинейной экономической динамике. Издается большое количество российских и переводных книг, посвященных данным вопросам (например, [1]–[3]). В программе одного из таких курсов, который читается на экономическом факультете Санкт-Петербургского университета, его автор, проф. М. А. Нарбут пишет: «Адекватное отражение реалий экономической жизни требует привлечь для своего осмысления теорию динамических систем, позволяющую описывать такие явления, как колебания и резкие изменения состояния системы, неустойчивость и разрушение рыночных структур, хаотическую динамику и события, происходящие в различных временных масштабах. Преимущественный акцент на экономическую динамику, изменчивость и неустойчивость, поведение системы при воздействии различных управляющих параметров, изучение этих явлений на соответствующих математических моделях и составляет основное содержание курса» [4]. При этом во всех подобных курсах и монографиях при изучении вопросов устойчивости решений, эффекта бабочки, локальных и глобальных бифуркаций, при рассмотрении путей перехода к хаосу подчеркивается важность компьютерного моделирования, получения аналитических или численных решений систем дифференциальных уравнений при различных значениях параметров и различных начальных условиях [5]–[7]. В то же время ни в одной из перечисленных работ не упоминается о существовании одного совершенно уникального численного метода решения систем интегродифференциальных уравнений, названного его создателем проф. Ю. А. Бычковым [8] аналитически-численным методом и как будто специально предназначенного для подобных исследований. Метод Ю. А. Бычкова [9] отличается от других численных методов решения дифференциальных уравнений тем, что позволяет найти решение с любой наперед заданной локальной погрешностью и оценить глобальную погрешность. Данный метод позволяет находить решение систем интегродифференциальных уравнений, описывающих взаимозависимую деятельность с последствием, и систем, содержащих обобщенные функции в правой части. Единственным ограничением на применение метода Ю. А. Бычкова является существование при данных начальных условиях решения класса  $C^\infty$  за исключением конечного числа особых точек. Данный метод легко находит решения, имеющие разрывы первого рода, а в окрестности точки, в которой решение терпит разрыв второго рода, аналитически-численный метод начинает все более и более уменьшать шаг интегрирования и, наконец, останавливается, когда разрядность компьютера не позволяет обеспечить заданную точность.

Известно удачное применение аналитически-численного метода, выполненное самим Ю. А. Бычковым и его учеником проф. С. В. Щербаковым к известным уравнениям, широко используемым при изучении экономической динамики, – уравнениям Дуффинга, Ван дер Поля, Лоренца, а также к простейшему варианту уравнения Вольтерра [10]. Обратимся к более общей постановке данной задачи, а именно рассмотрим замечательную модель, называемую в современной литературе моделью Лотки–Вольтерра. Напомним краткую историю данной модели, следуя второй главе книги А. В. Прасолова «Математические модели динамики в экономике» [11].

Первая формализация динамики биологических популяций восходит к Мальтусу, предположившему, что скорость изменения числа особей в популяции пропорциональна объему популяции:

$$dN(t) = \varepsilon N(t) dt.$$

Следующая модель исключила экспоненциальный рост и приняла во внимание эффект насыщения. Она появилась в работе Ферхюльста (1838) под названием *логистической модели* для описания динамики биологических популяций:

$$dN(t) = [\varepsilon_0 - \gamma N(t)] N(t) dt.$$

В данной модели коэффициент прироста  $\varepsilon$  заменен линейной функцией от объема популяции: если жизненные ресурсы данной популяции, т. е. пища, жизненное пространство, энергетические источники и т. д., ограничены, то ее объем должен с течением времени стабилизироваться. Такой уровень объема популяции равен  $\varepsilon_0 / \gamma$ .

В наиболее общей форме логистическая модель (без последдействия) рассматривалась А. Н. Колмогоровым [12] для сообщества из  $n$  видов:

$$\dot{N}_i(t) = N_i(t) f_i[N_1(t), N_2(t), \dots, N_n(t)], \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Сам В. Вольтерра [14] использовал линейные функции:

$$\dot{N}_i(t) = N_i(t) \left[ \varepsilon_i - \sum_{k=1}^n \gamma_{ik} N_k(t) \right], \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Он исследовал главным образом случаи  $n = 2, 3$ . Однако главной заслугой Вито Вольтерра считается то, что он ввел в рассмотрение последствие, т. е. предположил, что взаимодействие видов на общих ресурсах изменяет коэффициенты прироста через некоторое время. Так, в задаче «хищник–жертва» предполагается, что объем популяции «жертв», являясь пищей для «хищников», определяет объем популяции последних через вегетативный период. В результате В. Вольтерра получил [14] следующую систему с распределенным запаздыванием:

$$\begin{cases} \dot{N}_1(t) = \left[ \varepsilon_1 - \gamma_1 N_2 - \int_0^{+\infty} F_1(\tau) N_2(t-\tau) d\tau \right] N_1(t), \\ \dot{N}_2(t) = \left[ -\varepsilon_2 + \gamma_2 N_1 + \int_0^{+\infty} F_2(\tau) N_1(t-\tau) d\tau \right] N_2(t). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $N_1, N_2$  – объемы популяций жертв и хищников соответственно;  $F_1, F_2$  – функции, характеризующие распределение хищников и жертв по возрастам.

Если считать запаздывание единственным, модель Лотки–Вольтерра принимает вид

$$\dot{N}_i(t) = N_i(t) \left[ \varepsilon_i - \sum_{k=1}^n \gamma_{ik} N_k(t-\tau) \right], \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Именно эта упрощенная система дифференциальных уравнений с последействием и рассматривается на протяжении всей второй главы книги [11] А. В. Прасолова. С помощью данной модели изучается динамика взаимодействия нескольких фирм, отраслей или государств. А. В. Прасолов начинает с самого простого: две конкурирующие фирмы находятся в одной экономической нише, т. е. у них общие ресурсы, потребители и одинаковые товары или услуги. Предполагается, что цена не меняется при изменении объема товара на рынке (т. е. рассматриваемые фирмы не являются монополистами) и что товар незаменим. Примерами таких конкурирующих фирм могут служить две транспортные компании по перевозке грузов или людей в одном городе. Они могут менять организацию труда, технологию обслуживания, вводить скидки, тратиться на рекламу, покупать более совершенные транспортные средства, сокращать стоимость ремонта и хранения, выбирать новые оптимальные маршруты, чтобы победить конкурентов. Можно рассматривать их взаимодействие на фоне существующего, мощного и не подверженного частым изменениям городского транспортного хозяйства, т. е. предположить, что потребитель откажется от услуг рассматриваемых компаний, когда городской транспорт станет предпочтительней по цене или по качеству.

Другие примеры – это производство хлебулочных изделий, услуги по ремонту квартир или автомобилей, туристический бизнес и т. д.

Более сложным примером экономического взаимодействия является система мирового рынка. Так как мировые ресурсы труда, капитала, энергоносителей, земли и т. д. ограничены, то рассматриваемая динамическая модель конкуренции между странами, по мнению А. В. Прасолова, может оказаться адекватной. Для такой модели экономическая интерпретация потребует существенно более сложных предположений, однако опора на такие интегральные показатели как ВВП и индекс жизни могла бы, считает автор, дать вполне адекватную модель.

Субъекты в экономике не всегда только борются за общие ресурсы или потребителей. В каждом государстве существуют отрасли, взаимодействие которых является более сложным. Рассмотрим сельское хозяйство, промышленность, добывающий сектор экономики и бюджетные средства государства. Они одновременно и конкурируют, и развивают друг друга. При этом могут существовать государства с одним доминирующим сектором из перечисленных. Скажем условно, что Бирма, Тайланд и Никарагуа – сельскохозяйственные страны, Кувейт и Венесуэлла – добывающие, Англия и Япония – промышленные, Германия, Швеция и Люксембург – бюджетные. Тем не менее, в большинстве стран функционируют все из отмеченных экономических секторов, и они, естественно, взаимодействуют. Правительства и парламенты стараются управлять указанным взаимодействием, например, вводя специальные экспортно-импортные налоги или поддерживая сельское хозяйство специальными закупочными ценами. Для анализа этого явления А. В. Прасолов также предлагает соответствующую модель Лотки–Вольтерра. Далее демонстрируется использование модели Лотки–Вольтерра для изучения колебаний различного периода: от сезонности и циклов деловой активности до длинных и коротких кондратьевских волн.

Во второй главе А. В. Прасоловым рассматриваются на основе модели Лотки–Вольтерра динамическая модель одного предприятия, конкуренция предприятий на общем рынке, динамика иерархически связанных отраслей, международная конкуренция, кондратьевские волны, модель динамики цены в окрестности точки равновесия (с последствием), макроэкономические модели с запаздыванием, изменение качественного поведения модели при увеличении запаздывания, конкурентная деятельность без запаздывания и с временным лагом, полный анализ взаимодействия экономических агентов, взаимозависимая деятельность с последствием, модель с произвольным числом участников рынка и другие, более сложные вопросы анализа данной модели. Однако, как было отмечено, рассмотрение моделей Лотки–Вольтерра с последствием в книге А. В. Прасолова сводится главным образом к изучению упрощенного варианта модели (2) с единственным запаздыванием на некоторую величину  $\tau$ . Вернемся к общему виду системы уравнений Лотки–Вольтерра с последствием (1), хотя из соображений экономической интерпретации модели в правой части будем использовать не свертку неизвестных функций  $N_1, N_2$  с некоторыми весовыми функциями  $F_1, F_2$ , а просто интеграл от неизвестных функций, умноженный на константу:

$$\begin{cases} \dot{N}_1(t) = \left[ \varepsilon_1 - \gamma_1 N_2(t) - f_1 \int_0^t N_2(\tau) d\tau \right] N_1(t); \\ \dot{N}_2(t) = \left[ -\varepsilon_2 + \gamma_2 N_1(t) + f_2 \int_0^t N_1(\tau) d\tau \right] N_2(t) \end{cases} \quad (3)$$

с начальными условиями  $N_1(0) = N_1^0, N_2(0) = N_2^0$ .

Ясно, что те рекуррентные формулы, которые получаются при решении системы интегродифференциальных уравнений аналитически-численным методом Ю. А. Бычкова, от этого лишь незначительно модифицируются.

Решим систему уравнений (3) методом Ю. А. Бычкова. Записав неизвестные функции  $N_1(t), N_2(t)$  в виде рядов Тейлора в окрестности точки  $t = 0$  и взяв преобразование Лапласа от обеих частей системы (3), получим следующие очевидные рекуррентные соотношения для коэффициентов рядов Тейлора в окрестности  $t = 0$ :

• при  $i = 1$ :

$$\begin{cases} N_{1,1} = \varepsilon_1 N_{1,0} - \gamma_1 N_{1,0} N_{2,0}; \\ N_{2,1} = -\varepsilon_2 N_{2,0} + \gamma_2 N_{1,0} N_{2,0}, \end{cases} \quad (4)$$

• при  $i = 1, 2, \dots$ :

$$\begin{cases} N_{1,i+1} = \varepsilon_1 N_{i,1} - \gamma_1 \sum_{j=0}^i C_i^j N_{1,i-j} N_{2,j} - f_1 \sum_{j=0}^{i-1} C_i^j N_{1,j} N_{2,i-1-j}; \\ N_{2,i+1} = -\varepsilon_2 N_{2,i} + \gamma_2 \sum_{j=0}^i C_i^j N_{1,i-j} N_{2,j} + f_2 \sum_{j=1}^{i-1} C_i^j N_{1,i-1-j} N_{2,j}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $N_{1,j}, N_{2,j}$  – коэффициенты рядов Тейлора при  $t^j$  для  $N_1(t)$  и  $N_2(t)$  соответственно;  $C_i^j$  – число сочетаний из  $i$  по  $j$ . Взяв необходимое количество членов ряда и выбрав подходящую величину шага  $h$ , находим значение функций  $N_1(t), N_2(t)$  при  $t = h$ . После

этого перечисленные действия повторяются в окрестности точки  $t = h$ . При этом основное внимание в работах Ю. А. Бычкова [8]–[10] уделяется обеспечению требуемой величины глобальной точности и получению сколь возможно менее завышенных оценок локальной и глобальной погрешностей решения. В зависимости от поведения коэффициентов ряда Тейлора Ю. А. Бычков рассматривает четыре варианта выбора шага. При этом, как было отмечено, метод Бычкова позволяет достичь любой наперед заданной точности интегрирования. Рекуррентные соотношения (4), (5) исключительно легко программируются. Перемножению формальных степенных рядов, очевидным образом, соответствует перемножение инъективных пределов при  $n \rightarrow +\infty$  соответствующих последовательностей матриц коэффициентов этих рядов – нижнетреугольной на верхнетреугольную, одну из которых предварительно поэлементно умножают на инъективный предел последовательности «треугольников Паскаля» [13]. Для первого из перемножаемых рядов  $n$ -й член последовательности имеет вид

$$\begin{bmatrix} N_0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ N_0 & N_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ N_0 & N_1 & N_2 & 0 & \dots & 0 \\ N_0 & N_1 & N_2 & N_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_0 & N_1 & N_2 & N_3 & 0 & N_n \end{bmatrix}, \quad (6)$$

для второго –

$$\begin{bmatrix} N_0 & N_1 & N_2 & N_3 & \dots & N_n \\ 0 & N_1 & N_2 & N_3 & \dots & N_n \\ 0 & 0 & N_2 & N_3 & \dots & N_n \\ 0 & 0 & 0 & N_3 & \dots & N_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_n \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Здесь  $N_i$  обозначает  $i$ -й член ряда Тейлора для одной из функций, а первый индекс, обозначающий номер неизвестной функции, 1 или 2, в выражениях (6), (7) опущен.

Если один из рядов предварительно интегрируется, значит соответствующие «треугольники Паскаля» сдвигаются на один столбец влево.

Не ставя в данной статье задачи специально заниматься вопросами получения наперед заданной локальной точности получаемого по методу Ю. А. Бычкова решения за счет выбора порядка полиномов Тейлора и величины шага интегрирования, а желая только продемонстрировать мощь данного метода для решения экономических задач, авторы произвольно задались шагом интегрирования  $h = 0.05$  и порядком полиномов Тейлора  $n = 10$ , оценивая при этом точность получаемого решения в соответствии с методом Ю. А. Бычкова.

Были выбраны следующие значения параметров модели Лотки–Вольтерра:  $\varepsilon_1 = 0.5$ ,  $f_1 = 1$ ,  $j_1 = 1$ ,  $\varepsilon_2 = 0.5$ ,  $f_2 = 1$ ,  $j_2 = 1$ . Начальные условия при  $t = 0$  следующие:  $N_1(0) = N_1^0 = 0.5$ ,  $N_2(0) = N_2^0 = 0.5$ . Рассматривалось решение на промежутке  $[0; 25]$ . Полученные по методу Ю. А. Бычкова численные решения  $N_1(t)$  и  $N_2(t)$  приведены на рис. 1 и 2. На каждом графике средняя кривая соответствует найденному приближенному решению, а верхняя и нижняя кривые указывают границы области, содержащей точное значение соответствующего решения системы уравнений динамики.

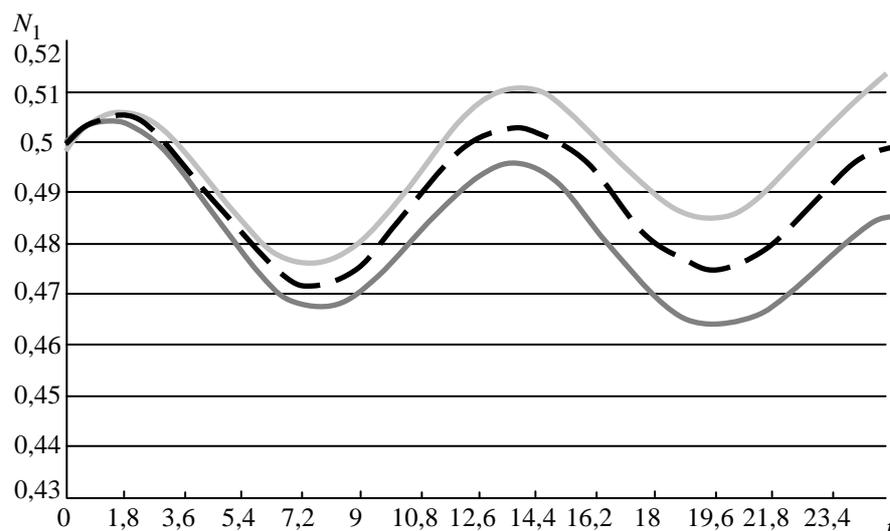


Рис. 1

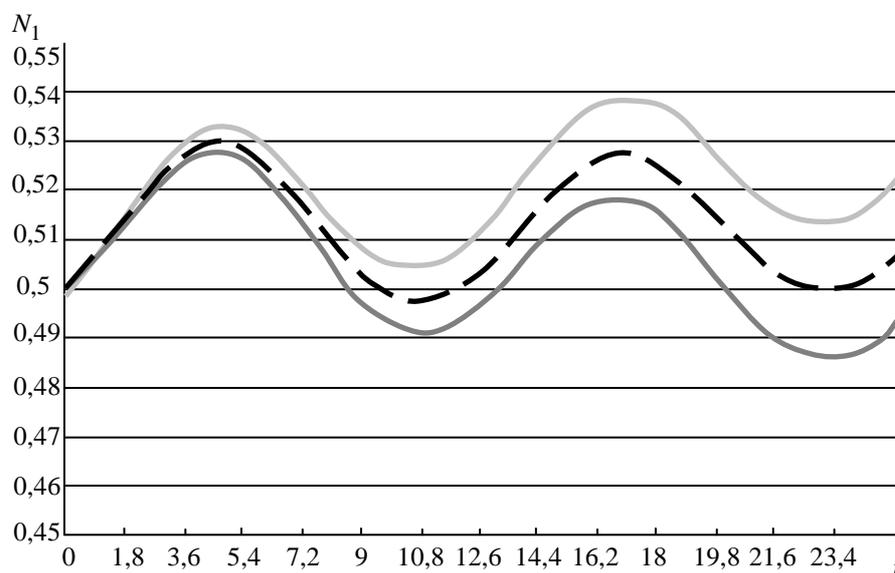


Рис. 2

При этом в точках аналитичности решения аналитически-численный метод Ю. А. Бычкова позволяет достоверно оценить точность интегрирования и указать границы области, содержащей точное решение, а в некоторых случаях и обеспечить любую наперед заданную глобальную точность за счет выбора порядка полиномов Тейлора и величины шага [8]–[10]. То же самое с некоторыми оговорками можно сказать и о точках, в которых решение терпит разрыв первого рода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беленький В. З. Оптимизационные модели экономической динамики. Понятийный аппарат. Одномерные модели. М.: Наука, 2006.
2. Первозванский А. А., Первозванская Т. Н. Финансовый рынок: расчет и риск. М.: Финансы и статистика, 1994.
3. Занг В. Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. М.: Мир, 1999.
4. Нарбут М. А. Программа курса «Нелинейная динамика экономических систем». СПб.: Изд-во Санкт-Петерб. ун-та, 2006.
5. Гукенхеймер Дж., Холмс Ф. Нелинейные колебания, динамические системы и бифуркации векторных полей/ Институт компьютерных исследований. М.–Ижевск, 2002.

6. Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2006.
7. Нарбут М. А. Стохастические задачи динамики. СПб.: Изд-во Санкт-Петерб. ун-та, 1994.
8. Бычков Ю. А. Расчет систем управления на основе кусочно-степенных моделей. Анализ, синтез, оптимизация. Л.: Энергоатомиздат, 1991.
9. Бычков Ю. А. Аналитически-численный расчет. Динамика нелинейных систем/ СПбГЭТУ (ЛЭТИ). СПб., 1997.
10. Бычков Ю. А., Щербаков С. В. Аналитически-численный метод расчета динамических систем. СПб.: Энергоатомиздат, 2002.
11. Прасолов А. В. Математические модели динамики в экономике/ ГУЭФ. СПб., 2000.
12. Колмогоров А. Н. Качественное изучение математических моделей динамики популяций // Проблемы кибернетики. 1972. Вып. 25. С. 35–61.
13. Бычков Ю. А., Щербаков С. В. Эффективный способ формирования коэффициентов результирующего полинома при возведении полиномов Тейлора в дробно-рациональные степени и перемножении их // Сб. науч. тр./ ЛЭТИ. Л., 1990. Вып. 424. С. 11–15.
14. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука, 1976.

A. Korolev, Y. Korolev

*ON THE USE OF ANALITICALLY-DIGITAL METHOD IN MATHEMATIC MODELS OF ECONOMY*

*Devoted to use of analytically-digital method of Y.A.Bychkov in the solution of non-linear economical dynamics problems. The Lottki-Volterra Model with consequence action, being widely used in economics, biology and sociology, is considered. Through that model, the efficiency of Bichkov Method for the solution of economical dynamics problems is shown.*

**Analitically-digital method, Lottki-Wolterra model with consequence action, non-linear dynamics of economical systems**



УДК С55

Л. В. Азарова, Р. Ю. Почекаев

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ PR-ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИИ И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В СФЕРЕ КОММУНИКАЦИИ

*Несмотря на то что первые официальные PR-структуры в России появились менее 20 лет назад (в 1988 г.), сфера связей с общественностью в нашей стране претерпела значительную эволюцию, что отразилось как на практической деятельности специалистов, так и на системе вузовской подготовки в сфере PR. Изменяющиеся требования работодателей к специалистам по связям с общественностью отразились на образовании по этой специальности, которые получали в вузах страны. Можно утверждать, что система подготовки по связям с общественностью отвечает требованиям рынка и оперативно отражает изменяющиеся тенденции в сфере PR.*

**Public Relations, связи с общественностью, тенденции развития, преподавание, методология, подготовка специалистов**

За сравнительно короткое время существования связей с общественностью в нашей стране<sup>1</sup> эта специальность и учебная дисциплина прошли несколько важных этапов. Исследователи неоднократно предпринимали попытки периодизации развития PR в России [1]–[3]. Однако нас в рамках данной темы интересует эволюция не столько институтов PR, сколько требований работодателей к специалистам в условиях интеграции России в мировое сообщество и изменений в современном российском обществе. В связи с этим подходы к подготовке специалистов по коммуникации меняются. Соответственно, предлагаемая нами периодизация несколько отличается от вышеупомянутых.

Первый этап, длившийся до 1997–1998 гг., можно охарактеризовать как ознакомительный: работодатели и сами работники PR-сферы еще присматривались к новой деятельности, не вполне четко представляя, чем должен заниматься PR-специалист. Главным доводом в пользу появления в организации соответствующего работника было то, что на Западе в компаниях и учреждениях таковые имеются.

<sup>1</sup> За точку отсчета принимается 1988 г., когда официально были созданы отделы по связям с общественностью в исполкомах Моссовета и Ленсовета [1].

Не будет открытием, что коммуникацией в организациях в нашей стране занимались и до официального появления специальности «связи с общественностью». В то же время ни руководители организаций, ни сами специалисты по коммуникации не придавали особого значения специальному образованию в сфере PR [6]. Как правило, коммуникационной деятельностью в организации занимался высокопоставленный менеджер, близкий к руководству человек, нередко лишь формально отвечавший за информационное обеспечение деятельности в организации и в лучшем случае окончивший краткосрочные курсы повышения квалификации. Таким образом, спрос на PR-специалистов, имеющих профильное образование, в стране по большому счету отсутствовал.

Второй этап (приблизительно 1998–2003 гг.) можно обозначить как становление PR-деятельности. К этому времени в вузах России была освоена подготовка по новой специальности [1]–[3], и работодатели наконец-то осознали, в чем заключаются обязанности профессиональных коммуникаторов и какие преимущества обеспечивает их наличие в организации. Однако профессия PR продолжала восприниматься как заимствованная с Запада, профильные специалисты в большинстве случаев не вписывались в организационную структуру предприятия или учреждения и могли рассчитывать на должность технических исполнителей или менеджеров низшего звена. Поэтому от PR-специалистов, в первую очередь, требовалось умение вести деловую корреспонденцию и переговоры, а к профессиональным навыкам относилось исключительно умение составлять пресс-релизы – такие требования предъявляли к PR-специалистам работодатели. Фактически, специалисты по коммуникации в этот период чаще всего выполняли функции дополнительных секретарей-референтов руководителя организации. При этом не было и речи об участии PR-специалистов в стратегической деятельности предприятия, планировании долгосрочных проектов и т. п. Характерно, что даже с представителями прессы, как правило, общались не PR-специалисты, а руководство организации.

Ситуация начала существенно изменяться лишь с 2003 г., когда профессия специалиста по связям с общественностью постановлением Министерства труда и социального развития № 59 была внесена в Общероссийский классификатор. Первые PR-специалисты с профильным образованием уже приобрели опыт работы в различных отраслях и сумели в значительной степени изменить имидж своей профессии. Этому способствовало и появление отечественной специальной литературы по PR, с успехом дополнявшей (а в отдельных случаях и заменявшей) иностранные источники. Работодатели, имевшие возможность оценить потенциал специалистов по PR, признали их право на более широкие функции, и с этого времени можно говорить о приобретении PR стратегической роли, а специалистами – статуса если не менеджеров высшего звена, то работников, приближенных к этому уровню. По результатам исследований, проведенных PR-порталом [Sovetnik.ru](http://www.sovetnic.ru) (<http://www.sovetnic.ru>), в 2005 г. снизилась потребность в заместителях генерального директора по связям с общественностью (чаще всего совмещавших эти обязанности с другой, основной функцией), но возросла потребность в руководителях профильных департаментов организаций. На наш взгляд, это явно свидетельствует о том, что PR наконец-то стали воспринимать как самостоятельную и важную сферу деятельности, для которой требуются квалифицированные специалисты с профильной подготовкой. И это существенно сближает PR-среду России с мировой PR-практикой, являясь отражением процесса глобализации в целом.

Соответственно, изменяются требования к кандидатам на должность PR-менеджеров и руководителей PR-отделов. Еще 3–4 года назад основными требованиями были довольно абстрактный опыт работы (причем не обязательно по специальности!), умение составлять пресс-ре-

лизы и деловые письма и поддерживать контакты со СМИ и органами власти. Проанализировав объявления о поиске специалистов в сфере коммуникации на сайте Superjob.ru (<http://www.superjob.ru>), мы выяснили, что сегодня в 60–70 случаях из 100 работодатели предъявляют следующие требования: опыт разработки PR-стратегии и руководства PR-направлением; четкая постановка целей и приоритетов; знание критериев оценки PR-деятельности; планирование PR-деятельности компании; организация работы по связям с общественностью и средствам массовой информации и т. п. Подобным требованиям, естественно, может соответствовать только человек, получивший специальную подготовку, профильное образование.

Новые подходы к образованию специалистов в сфере связей с общественностью отражают главные тенденции, определяющие развитие данной специальности в современном мире. Среди них необходимо отметить прежде всего тенденцию к интернационализации бизнеса, связанную с деятельностью предприятий, включенных в структуру мировой экономики. По мнению авторов книги [4], самое главное в PR – то, что PR-специалисты современной формации должны учитывать специфику местной культуры, особенности деловой практики и другие важные характеристики своего общественного окружения.

Другим направлением, связанным с необходимостью налаживания международного диалога и сотрудничества, специалисты считают проблемы состояния окружающей среды и, как следствие, возрастание роли социальной ответственности бизнеса. Специалисты по связям с общественностью (СО) начинают играть все большую роль в процессе принятия стратегических решений и формулировке политики компаний.

Начиная с 1980 г. наблюдается процесс деления массовых рынков на более мелкие, с чем связана тенденция диверсификации аудитории. PR-специалистам необходимо овладеть техникой микродемографического анализа для сегментации аудитории с учетом ее специальных интересов, а также для адресной доставки сообщений, предназначенных для выделенных аудиторий.

Нельзя оставить без внимания и такую тенденцию, как распространение новых технологий в области средств массовой коммуникации (СМК). В последнее время PR-специалисты все чаще прибегают к использованию электронных СМИ, широко используя электронную почту и глобальные информационные сети.

Все перечисленные тенденции находят отражение в изменениях профессиональных требований к квалифицированному PR-специалисту.

Как уже отмечалось, раньше традиционно было принято считать, что специалисты по связям с общественностью должны прежде всего уметь налаживать контакты со СМИ, владеть навыками создания текстов и, в идеале, обладать опытом журналистской работы. Такой подход нашел свое отражение в Государственных образовательных стандартах (ГОС) подготовки специалистов по связям с общественностью первого и второго поколения.

В первом ГОС (1996 г.) наблюдался довольно сильный перекос в сторону журналистики в блоках общепрофессиональных и специальных дисциплин. В ГОС 2000 г., действующем в настоящее время, большое внимание уделяется развитию чисто технических навыков, таких как подготовка PR- и рекламных текстов, техника и технология СМК, организация и проведение специальных мероприятий и т. д.

Нисколько не умаляя значимости этих действительно необходимых инструментов деятельности PR-специалиста, в настоящее время необходимо обращать самое пристальное внимание на профессиональную подготовку в области менеджмента, маркетинга, международно-

го бизнеса, финансов, работы с органами государственной власти и целый ряд других аспектов многогранной деятельности профессионалов в сфере СО. Все чаще перед PR-специалистами, работающими в бизнесе и промышленности, ставятся задачи, связанные с тщательным и точным анализом текущей ситуации, для того чтобы выявить стоящие перед организацией проблемы с целью последующего стратегического планирования, прогнозирования возможных угроз и определения текущей организационной политики в области коммуникации.

Одной из наиболее важных задач, стоящих перед PR-специалистами в современном обществе, можно признать отслеживание состояния общественного окружения организации. Следствием этого является возрастание значимости аналитической и исследовательской составляющих профессиональной подготовки.

Нельзя не остановиться еще на одном из аспектов, определяющих будущее профессиональной подготовки специалистов по СО, связанным с понятием корпоративной социальной ответственности. Оно имеет непосредственное отношение к профессиональной этике и затрагивает самую суть профессии PR.

Анализируя содержание PR-деятельности в современных условиях, французский исследователь Филипп Буари дает следующее определение паблик рилейшнз: «Будучи общественной дисциплиной, основанной на соблюдении жестких этических норм, паблик рилейшнз одновременно являются коммуникационной наукой, позволяющей воспринимать проблемы предприятия под новым, более соответствующим социально-экономическим реальностям, углом зрения» [5].

Таким образом, изменения, происходящие в обществе, неизбежно влекут за собой изменения запросов работодателей и, соответственно, требований к уровню профессиональной подготовки выпускников по связям с общественностью.

Перечисленные тенденции нашли отражение в проекте ГОС подготовки бакалавра по специальности «Связи с общественностью». В частности, в разделе, определяющем квалификационную характеристику выпускника, выделяются такие направления, как изучение проблем и подготовка аналитических материалов в различных сферах корпоративной, внутриполитической и международной жизни; проблемы глобализации; научное и культурное сотрудничество; подготовка и реализация программ, способствующих процессам оптимизации корпоративной деятельности; создание единого международного экономического, экологического, культурного и информационного пространства. Следует отметить появление в проекте ГОС третьего поколения таких дисциплин, как «основы проведения ситуационного анализа в связях с общественностью», «профессиональная этика в СО», «бизнес-этикет в СО», «корпоративные связи с общественностью» и целого ряда других, отражающих современное состояние развития специальности и предъявляемые к выпускникам требования.

Но приобретения и закрепления специалистом по коммуникации профессиональных навыков все же недостаточно для эффективной работы и карьерного роста в сфере PR. Помимо чисто технических, кадровых требований, PR-менеджер должен в своей деятельности руководствоваться и требованиями нормативными – речь идет о правовых и этических нормах, имеющих столь важное значение в сфере коммуникации.

В последние годы для российских PR-специалистов стал весьма актуальным учет изменений в области права. Хотя законодательство, непосредственно регулирующее деятельность в сфере коммуникации, в нашей стране (как и во всем мире) практически отсутствует, за последние годы произошли значительные изменения в правовых актах, касаю-

щихся смежных сфер, что сближает их с мировыми стандартами. Так, в 2003–2004 гг. были внесены дополнения в законы «Об информации, информатизации и защите информации», «О средствах массовой информации», «О рекламе», которые ужесточили требования к информации и уточнили функции органов надзора и контроля в этой области. В 2003 г. принят Кодекс об административных правонарушениях, предусматривающий суровые санкции за нарушение авторских прав, разглашение конфиденциальной информации, злоупотребление свободой массовой информации и пр. Еще в начале 2000-х гг. в Уголовном кодексе РФ ответственность за разглашение коммерческой тайны повысилась со штрафа до тюремного заключения. Приняты новые законы «О рекламе», «О политических партиях» и «Об общественных объединениях», значительно влияющие на информационное обеспечение деятельности соответствующих организаций.

Чтобы постоянные изменения в правовом регулировании не повлияли негативно на эффективность работы PR-специалистов, последние должны проявлять значительную гибкость, умение адаптироваться к новым обстоятельствам. Для этого мало одних профессиональных навыков – нужны также гибкое мышление, широкий кругозор, умение находить общий язык с представителями различных сфер и отраслей деятельности. Выработка этих качеств также зависит от организации процесса подготовки будущих специалистов по коммуникации.

Мало кто из экспертов не согласен с тем, что будущее связей с общественностью в России принадлежит четвертой модели PR как стратегической двусторонней симметричной этической функции менеджмента, позволяющей на практике совместить этичность с эффективностью [6].

В первые десять лет своего существования российские связи с общественностью ассоциировались главным образом с методами и технологиями политического PR и политтехнологов. Их деятельность определила как позитивные, так и негативные стороны профессии в целом. Смешивание методов PR, пропаганды и рекламы, сведение всей сферы публичных отношений только к политическим технологиям привело к тому, что профессия «связи с общественностью» стала ассоциироваться с деятельностью, не имеющей к ней никакого отношения. Об этичности односторонних, манипулятивных, пропагандистских моделей PR говорить не приходится. Обращает на себя внимание тот факт, что большая часть негативных технологий является противозаконной (например, вмешательство в частную жизнь; клевета, направленная на подрыв деловой репутации; подкуп должностных лиц и журналистов).

Соблюдение правил, этичность поведения и профессионализм должны составлять для PR-специалиста единое целое, являться основой становления профессиональных стандартов в сфере PR. Профессиональные технологии в отрыве от содержательной сущности публичных отношений как *стратегии доверия* и *согласия* приводят к отрыву профессии от ее этических регуляторов. Именно поэтому потребность в механизмах самоконтроля и саморегуляции профессиональной PR-деятельности в современной России чрезвычайно высока [7]. Эта потребность должна являться одной из важнейших компетентностных характеристик профессионала, упомянутых в проекте нового Государственного образовательного стандарта, ее следует прививать будущим PR-специалистам в процессе получения профильного образования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Очерки истории связей с общественностью / Отв. ред. А. Д. Кривоносов. СПб.: Роза мира, 2005.
2. Шишкин Д. П. История PR в России: проблемы периодизации // Петербургская школа PR: от теории к практике. СПб.: Роза мира, 2004.

3. Шишкина М. А. Паблик рилейшнз в системе социального управления. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 1999.
4. Самое главное в PR / У. Аги, Г. Кэмерон, Ф. Уолт, Д. Уилкок; Пер. с англ. СПб.: Питер, 2004.
5. Буари Ф. А. Паблик рилейшнз, или стратегия доверия / Пер. с фр. М.: ИНФРА-М, 2001.
6. Grunig J., Hant T. *Managing Public Relations*. N. Y.: Holt, Rinehart and Winston, 1984.
7. Азарова Л. В. Этические аспекты деятельности специалиста в области связей с общественностью // *Профессиональная этика: Учеб. пособие для высших учебных заведений* / Отв. ред. М. Н. Росенко. СПб.: Петрополис, 2006.

L. V. Azarova, R. Ju. Pochekaev

*TRENDS IN DEVELOPMENT OF PR ACTIVITY IN RUSSIA AND NEW APPROACHES TO HIGHER EDUCATION IN COMMUNICATION AREA*

*History of PR in Russia and evolution of PR profession is influenced by world globalization processes, development of Russian market economy to meet international standards, and shift of the attitudes in civil society towards public interests. These trends were reflected in employers' requirements to PR specialists and consequently in PR higher education.*

*Two Stated educational standards were accepted in 1996 and 2000. Now the project of the third one is under consideration. The last standard emphasized the role of PR as part of management, based on management and communication skills needed to build effective relationship between organization and its publics.*

**Public Relations, higher education, trends and evolution of PR, methodology, training of specialists**

УДК 021.1

*Т. Б. Маркова*

## **ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД В АНАЛИЗЕ РАЗВИТИЯ БИБЛИОТЕК**

*Рассматриваются основные направления развития библиотек в информационном обществе. Внимание акцентируется на электронной библиотеке, ее функциях и особенностях работы в ней.*

**Библиотека, электронная библиотека, культура, информационное общество, информационный подход**

Увеличение информационного потока, многообразие его тематики, сложность систематизации и каталогизации литературы, создание информационных баз данных, устаревшие методология и теория управления библиотекой, эволюция сознания библиотекаря, вынужденного размышлять о роли и даже о судьбе библиотеки в обществе, обусловили необходимость появления новой парадигмы библиотечной науки, иного понимания сущности библиотеки. Изначально автор не подразумевает, что его произведение будет храниться на библиотечной полке, он пишет, во-первых, для себя (процесс творчества) и, во-вторых, для читателя, отдаленного временем и пространством и способного понять его мысли и приблизить их к своим состоянию и времени. Особо актуальными представляются исследование менталитетов автора, читателя, библиотекаря, а также реконструкция их взаимоотношений с учетом как теоретических проектов (герменевтического, коммуникативного, интерактивного), так и практических возможностей, задаваемых пространством современной библиотеки. Нам кажется, что философия библиотеки должна исходить из философии культуры, которая занимается проблемой понимания духовных феноменов. Ю. Н. Солонин отмечает: «С точки зрения онтологической интуиции ученого-естественника они как бы не существуют, если не овеществлены и не воплотились в предметности, которые можно объективно зафиксировать. При этом не принимается в расчет, что культурные (и подобные им) феномены существуют в ином смысле».

ле, чем предметы естественного мира. В обстановке господства естественнонаучного рационализма и свойственных ему критериев определения существования объекта исследования культура, если она не овеществлена, лишена статуса существования»<sup>1</sup>.

В терминологическом словаре по библиотечному делу за 1995 г. библиотека определяется как информационное, культурное образовательное учреждение, располагающее организованным фондом тиражированных документов и предоставляющее их во временное пользование. К традиционно предписываемым библиотеке функциям относятся: кумуляция (собираение) книг и иных документов, их классификация, трансляция, хранение и представление информации абоненту. Ю. Н. Столяров предлагает внести в это определение следующие поправки: 1) в фонд библиотеки входят не только тиражированные документы, но и особо ценные и редкие издания (рукописи, диссертации, редкие книги); 2) библиотеки, имеющие выход в Интернет, предоставляют пользователям не только свои документные ресурсы, но и ресурсы Интернета<sup>2</sup>.

В разных странах строились различные модели, теоретические концепции формирования и развития библиотек, основанные на эмпирических фактах и методах других научных дисциплин. В России библиотековеды и ученые долгое время пренебрегали обращением к другим наукам. Круг явлений и библиотечных процессов выявлялся из движения книг в системе «библиотека – книга – читатель». Потребность в научных практических знаниях обострилась в 60–70-е гг. XX в., в период создания автоматизированных технологий, когда произошли значительные перемены в области культуры и науки. В сферу библиотечных и книговедческих дисциплин активно внедрялись экономические, социологические и технические знания. Кибернетика, социология, социальная психология, информатика – к этим наукам устремлено внимание специалистов, которые, принимая во внимание и зарубежный опыт библиотек, разрабатывали собственную методологию библиотековедения с привлечением методов других наук.

В данный момент существует множество подходов и моделей библиотек – информационные, системно-синергетические, математические, социологические, типологические, философско-культурологические. Математические и кибернетические концепции имели частный характер и ограничивались конкретными задачами. Типология опиралась на выявление сходства и различия изучаемых предметов и понимание объекта как системы. На основе структурной модели делалась попытка определить сущность библиотеки как социального института, связанного с другими организациями и системами. Приверженцы информационной теории Х. Д. Шира и А. В. Соколов сошлись на том, что мыслительная деятельность читателей представляет собой сбор и обработку информации, отсюда важным принципом работы библиотек является удовлетворение информационных потребностей. Структурно-функциональный подход, согласно которому объект разделялся на простые элементы, не дал теоретического знания, отражающего специфику деятельности библиотек. Нормативная концепция не выявила, какие ценности, эмпирические или теоретические, будут преобладать в исследованиях<sup>3</sup>. Сегодня на первый план вышли проблемы фондообразова-

---

<sup>1</sup> Солонин Ю. Н. К онтологическому определению культуры // Культурология как она есть и как ей быть: Вып. 5. СПб., 1998. С. 188.

<sup>2</sup> См. Столяров Ю. Н. Дума о библиотечном законе // Науч.-техн. б-ки. 2001. № 5. С. 4–30; Терминологический словарь по библиотечному делу и смежным отраслям знания / Сост.: З. Г. Высоцкая, В. А. Врубель, А. Б. Маслов, Л. К. Розеншильд. М., 1995. С. 26.

<sup>3</sup> Гусева Л. Н., Смолина Е. В. Библиотековедение: Нормативный подход (понимающая парадигма мышления). СПб., 1997. С. 44–49, 56–62.

ния, сохранения уникальности фондов, определения статуса библиотеки, взаимодействия библиотеки с другими институтами и средствами коммуникации. Ценностные ориентации библиотек чаще всего формулируются не как прямое идейное руководство, а как особого рода целеориентирующее знание. Синергетический подход к библиотеке предполагает взаимодействие старых, традиционных форм хранения знания и новых технологий.

В новой модели библиотеки акцент делается на общение, коммуникацию и то, какими должны быть условия для формирования учреждений по запросам культуры, учитывая, что воспитательная и образовательная функции библиотеки сосуществуют. Важная роль в конструкции современных библиотек отводится архитектурному облику, который сочетает в себе строгое функциональное предназначение и привлекающий внешний и внутренний интерьер.

Философский подход к изучению библиотеки включает культурологический и технологический аспекты. Современная библиотека представляет собой попытку синтеза традиционных и новейших форм хранения и систематизации знания. Доминирующей является информационная функция, и с этой точки зрения библиотека представляется как информационный центр. Важными аспектами ее деятельности становятся информатизация доступа к информации, возможность автоматизированного поиска литературы и создание вспомогательных поисковых систем для обеспечения успешного функционирования электронных и библиотечных ресурсов.

Библиотека входит в систему учреждений культуры наряду с театрами, музеями и учебными заведениями. Библиотека как способ видения мира посредством собирания книг, классификации знаний, систематизации предметов науки, техники, искусства тесно связана с обществом, его политическими, экономическими и культурными особенностями. Сравнивая между собой библиотеку и музей, следует признать, что, несмотря на общие задачи – хранение и распространение знаний, – они выполняют эти задачи с различными установками. Музеи ориентированы в первую очередь на сохранение памятников материальной культуры, через которые мы воспринимаем информацию о духовных ценностях и их историческом значении для общества. Выставочный принцип работы музея способствует приобщению к культуре посредством пассивного зрительного восприятия экспонатов, формируя в нас представление о предмете искусства в контексте данной исторической эпохи. В библиотеку читатели идут прежде всего за информацией, за знанием, которое содержится в книге. Библиотека должна сама предоставить читателям доступ к информации и условия, обеспечивающие комфорт и тишину, а также быстроту и гибкость при работе с электронными каталогами. Иначе говоря, библиотека выполняет активную коммуникативную функцию, при которой происходит равносторонний диалог читателя с автором и его произведением через библиотекаря или библиографа. Библиотекарь не просто показывает читателю имеющиеся в библиотечном фонде книги, а заставляет его обращаться к книге, искать информацию. Он не только ищет и выдает книги, но и предоставляет читателям возможность самим поучаствовать в «увлекательном» процессе отыскания культурных памятников. Различие между библиотекой и музеем видится в различии функциональных задач и организационных принципов предоставления информации посетителям, читателям.

Какие изменения менталитета и принципов деятельности произошли в библиотеке? Отказ от идеологического принципа комплектования библиотечных фондов повлек за собой увеличение информационного потока, и, следовательно, возникла проблема нового принципа отбора книг для хранения в библиотеке, в котором немалую роль играет субъективный фактор. Возникли сложности в систематизации литературы и сохранении фондов при предоставлении свободного доступа к информации. Внедрение компьютерных систем

и автоматизированных баз данных, с одной стороны, облегчили работу библиотек, обеспечили возможность широкого поиска нужной информации, а с другой – поставили задачу формирования новых способов каталогизации книжного потока. Произошли изменения в статусе библиотекаря и читателя. Библиотечная профессия сегодня находится на грани двух культур – книжной и экранной. Проблема состоит в том, как сохранить престиж профессии и сделать ее актуальной и привлекательной для молодого поколения.

На повестке дня стоит вопрос о сохранении библиотекарей как профессионального сообщества, поскольку политические, социально-экономические и культурные изменения, произошедшие в обществе, не обошли и библиотеку:

1. Существовавший всегда конфликт двух культур – гуманитарной и технической – остро проявился в эпоху информатизации, так как большинство библиотекарей – женщины, чьи гуманитарные и эстетические интересы преобладают над познаниями в науке и технике.

2. Понизился статус библиотечной профессии. В США на протяжении 80–90-х гг. XX в. закрылись 14 престижных библиотечных школ, в том числе и Чикагский университет, который был первой библиотечной школой, дававшей докторскую степень по библиотековедению. В Советском Союзе упразднения в структуре библиотечного дела начались еще в 1960-х гг. Сначала исчезли библиотечные институты как самостоятельные учреждения, затем были упразднены факультеты специальных библиотек, а к началу 1990 гг. некоторые библиотечные и библиографические кафедры стали работать под эгидой информационно-библиотечных факультетов.

3. Стали очевидными различия взглядов на библиотеку и библиотекаря молодого и старшего поколений. Возникновение и развитие Интернета изменило отношение к библиотеке и сам уклад традиционной библиотечной жизни.

4. Сейчас важно не столько наличие первичной информации, сколько знание о том, где она находится и как ее получить<sup>1</sup>.

Читатели смотрят на библиотеку с другой стороны. Им важны и так называемая «обложка» библиотеки, т. е. красивое современное здание, оснащенное новейшими информационными технологиями, снабженное удобными стульями, столами, освещением для занятий за компьютером, и результат, которым является наличие необходимой книги, возможность получения и обработки информации. Читателя интересуют отношение библиотекаря к нему, читателю, его знания и библиографические способности. Рост электронных библиотек, количественное накопление информации, усложнение ролей в информационном и гипертекстовом пространстве привели к необходимости понимания библиотекаря и библиографа как значимых фигур в распределении знания. По мнению В. П. Леонова, профессиональное мастерство библиографа определяется не количеством предполагаемых пользователей книг, а типом решаемой задачи, ее особенностями. Пользователь формирует некую общую идею интересующей проблемы. В процессе общения с пользователем библиограф должен понять, что именно от него хотят – краткий обзор имеющейся информации, тематический перечень литературы или конкретную книгу. Библиографическая трансформация знания представляет собой смысловой процесс, а выявленные недостающие сведения образуют новый сюжет (результат

---

<sup>1</sup> Леонов В. П. Библиотечная профессия в конфликте двух культур... // Библиотечная профессия в зеркале информационного общества: Матер. всерос. электронной науч.-практ. конф., 2004 г., Казань / КГУ. Казань, 2002. С. 37–43.

трансформации)<sup>1</sup>. Таким образом, Интернет и электронные библиотеки нуждаются в квалифицированных специалистах, и в библиографии как науке и профессии открываются большие возможности для конструирования и создания интересных программ для пользователей.

Интернет открывает большие возможности для циркуляции информации. К сожалению, ее ускорение порождает своего рода турбулентные потоки, которые могут вызвать культурный кризис. Речь идет не только о компьютерных вирусах, но прежде всего об изменениях в сознании как автора, так и читателя, которым уже некогда думать и осмысливать полученную информацию, поскольку главная задача состоит в том, чтобы пересылать ее дальше. Человек не перестанет существовать, даже если он не будет больше читать книг и слушать профессорские лекции. Но это будет другой человек. На смену разумному и экономическому существу приходит новый человек, манипулирующий не только вещами, но и тем, что раньше считалось судьбой: сегодня некоторые люди меняют не только одежду, обстановку, жилье, семью, город, страну, но и лицо, фигуру и даже пол.

В современном обществе доминирующим культурно-историческим типом библиотеки является публичная библиотека, но она приобретает черты национального государственного учреждения, главной ролью которого становятся образование и самообразование. Новой моделью библиотек являются электронные библиотеки (ЭБ), представляющие печатные издания в электронном виде. В библиотечной практике сложилось несколько типов ЭБ:

- электронные библиотеки, рассчитанные на различные группы пользователей (для детей или студентов);
- электронные библиотеки, основанные на географическом принципе, – национальные, по отдельным областям, сельские.
- электронные библиотеки отраслевого характера (медицинские, математические и т. п.);
- электронные библиотеки, связанные с конкретным типом содержания (диссертации, звукозаписи и т. п.)<sup>2</sup>.

К характеристикам новой модели библиотеки можно отнести: 1) появление новых понятий (наименований), относящихся как к библиотеке, так и к читателю («медиатека», «информатека», «потребитель», «пользователь»), возникновение которых связано со все более быстрым растущим влиянием и быстрым распространением информационных технологий и масс-медиа; 2) принадлежность к глобальной информационной сети; 3) появление новых способов хранения, обработки и представления информации (электронные каталоги и картотеки, программы поиска информации); 4) встроенность в национальный сегмент информационного пространства; 5) возможность оказания услуг пользователям независимо от местонахождения учреждения; 6) предоставление полных текстов электронных публикаций; 7) статус метапрограммы государственного уровня, объединяющей другие федеральные, региональные и отраслевые проекты создания, учета, каталогизации, использования и развития электронных ресурсов, в рамках которой должен быть представлен весь электронный ресурс страны.

Современная электронная библиотека представляет собой сайт, на котором размещены ссылки и/или машиночитаемые коллекции документов. Он снабжен различными рубриками и отсылками на другие сайты. Электронная библиотека – это собрание электронных изданий,

---

<sup>1</sup> Леонов В. П. Библиография как профессия. М., 2005.

<sup>2</sup> Багрова И. Ю. Электронная библиотека (По материалам англоязычной печати 2000–2004 гг.) // Библиотековедение. 2005. № 4. С. 51.

классифицированных по общим разделам и рубрикам. Множество различных информационных ресурсов позволяет ей существовать в едином информационном пространстве. В идеале электронная библиотека должна иметь единую архитектуру, объединяющую множество технологий управления, распространения, хранения данных, поиска информации, а также обеспечивать автоматизацию функций, выполняемых обычной библиотекой.

Ю. Н. Столяров считает, что электронной библиотекой вправе именоваться неразрывное единство из элементов любой библиотеки (с учетом специфики такой библиотеки): фонда электронных документов; читателей или библиотекарей, обладающих компьютерной грамотностью; наличия материально-технической базы (компьютеров). Э. Р. Сукиасян считает, что термин «электронная библиотека» может применяться только к особым библиотечным учреждениям, имеющим в своем фонде только электронные документы, онлайн-доступ к справочному аппарату, «виртуальных», но зарегистрированных особым образом читателей, получающих пароль и логин для использования ЭБ<sup>1</sup>.

Главным принципом комплектования электронных библиотек становится принцип селективности информации, ориентированной на обеспечение доступа к ней и создание разумного баланса между владением и доступом. В электронной библиотеке происходит стирание границ между тиражированными и не опубликованными документами – они представлены вместе в фонде сетевых документов. Например, диссертации в традиционной библиотеке можно посмотреть лишь в отделе диссертаций. Такой отдел имеется в Российской государственной библиотеке (РГБ). Диссертации существуют в одном экземпляре и выдаются строго по разрешению. По данным РГБ, около 20 тыс. человек в год приезжают в библиотеку, тратя на это огромные деньги и время. В РГБ открылся доступ в виртуальный читальный зал библиотеки диссертаций, который дает возможность ознакомиться с интересующим читателя диссертационным исследованием по сети. РГБ продолжает хранить диссертации и в печатном виде, но читателю уже не предоставляется печатная копия – он адресуется к электронной версии. В Российской национальной библиотеке происходит оцифровка авторефератов диссертаций. В будущем предполагается соединение этих двух электронных коллекций на базе реализации проекта Национальной электронной библиотеки России, который реализуется РГБ совместно с Российской национальной библиотекой.

Основная проблема создания национальной ЭБ – это отсутствие механизма подключения разных коллекций к единому блоку, объединения их в одно целое. Пока нет механизма программного обеспечения, который обеспечивал бы, с одной стороны, функции, традиционные для библиотек, – хранение, каталогизацию, обработку, а с другой – функции создания распределенной системы таких крупных электронных коллекций<sup>2</sup>. Кроме того, в электронной библиотеке нет пока четкой дефиниции пользователя, составителя, библиотекаря и «переводчика» (человека, координирующего поиск книги в сети).

Что является субъектом и объектом библиотеки, и какова роль библиотекаря в ее информационном пространстве? Сегодня мы видим сближение различных функций библиотекаря. Он более не ограничен какой-либо одной ролью и выполняет целый комплекс задач, связанных как с каталогизацией и систематизацией книг, так и с налаживанием соответствия между потребностями читателей и классификацией литературы, с умением грамотно продумать систему поиска

---

<sup>1</sup> Качалина В. В. Электронная коллекция или электронный фонд? // Библиотековедение. 2006. № 1. С 59–68.

<sup>2</sup> Вислый А. И. Электронная библиотека диссертаций // Библиотековедение. 2005. № 4. С. 32–39.

книги в электронной библиотеке и составить программы. В некоторых библиотеках введена специальная должность библиотекаря, ответственного за электронные ресурсы, который занимается сбором и использованием цифровых материалов и координирует все связанные с этим процессы. Библиотекарь ЭБ должен не только понять, но и освоить весь цикл электронных и научных коммуникаций. В то же время необходимо, чтобы библиотекари сохраняли старые навыки и умения, так как большую часть ресурсов пока составляют печатные материалы, и одновременно приобретали новые знания. Главным же сейчас является выявление проблем для выработки в будущем новых подходов к финансированию библиотек, учитывая при этом усложнение процессов финансирования из-за комбинирования разнообразных форм оплаты, а также возможность сделать с помощью электронных технологий обоснованный выбор форм оплаты.

Библиотечный дискурс, мультикультурная среда электронной библиотеки и гипертекстовое пространство Интернета будут способствовать привлечению большого числа собеседников и участников разговора, для которых чтение классических книг на бумаге заменяется созданием коллективных текстов посредством сшивания разных идентичных литературных произведений, при котором происходит деконструкция авторского текста. Электронная книга – это копия печатного текста в электронном виде или справочное или информационное издание, которое снабжено гиперссылками, аудиовизуальным материалом, мультимедийными элементами. В его создании участвуют не только автор и издатель, но и другие специалисты – дизайнеры, программисты, редакторы, сетевые администраторы. Электронная книга может изначально создаваться в цифровом формате. Первыми такими образом были изданы энциклопедии, словари, альбомы, географические карты. Электронная книга может быть также частью электронной библиотеки, например, книжного собрания Максима Мошкова. Книги, присылаемые владельцу этой библиотеки самими пользователями, представляют собой простые электронные тексты без иллюстраций и ссылок. Читатель находит нужное ему художественное произведение с помощью алфавитного каталога книг, поисковой системы и коллекции внешних ссылок на аналогичные ресурсы. Отбор и систематизация в этой библиотеке отсутствуют, зато существуют книги, которые читатель любит сам и рекомендует прочесть другим.

Библиотеки Европейского университета в Петербурге и Французского института эффективно сочетают информационную, образовательную и культурную функции. Информационная функция этих библиотек заключается в предоставлении свободного доступа к книгам и другим документам и представлении информации в удобной для читателей форме. Электронный каталог библиотеки позволяет увидеть, на каких видах носителей информации существует то или иное, чаще всего художественное, произведение – в виде книги, дискеты, видеокассеты. Читатель выбирает один из предложенных вариантов просмотра «книги» и заказывает его. Библиотека предлагает своим читателям и другие способы получения информации, которые, однако, требуют предварительного обучения.

Образовательная функция электронной библиотеки заключается, во-первых, в преодолении психологического барьера между пользователем и компьютером. Появляется необходимость овладения компьютерной грамотностью для последующей работы с информационными и электронными ресурсами. Во-вторых, повышается роль библиотекаря как консультанта, специалиста, так как при увеличивающемся потоке информации самостоятельный поиск ее читателем, незнание им определенных правил пользования компьютерными программами, равно как и традиционными каталогами, превращает обилие источников в их отсутствие. В-третьих, поскольку эти библиотеки являются научными, то приоритетом для них ста-

новится хранение образовательной и специальной научной литературы. Руководство чтением как средство воспитания, как непрерывное обновление интеллектуального арсенала может составить содержательные аспекты образовательной функции библиотеки.

Многие специалисты и историки в своих работах уделяют внимание чисто технологической работе библиотек и на этом основании делают вывод, что современную библиотеку можно считать электронной, если существует ее электронный каталог и применяются различные программы, позволяющие потребителю оперативно найти необходимую информацию. Электронная библиотека, по представлению многих людей, – это прежде всего всемирная сеть (Word Wide Web), которой пользуются везде.

Какой должна быть библиотека в информационном обществе? Среди множества концепций преобладает мнение о трансформации традиционной библиотеки в некий информационный центр, где читателю должна быть доступна любая информация и открываются новые возможности поиска книги в информационном пространстве. Развитие и деятельность нового типа библиотеки должны быть ориентированы, во-первых, на внутреннее содержание документа, на ценность знания, содержащего в нем; во-вторых, на культурные и социальные изменения в обществе; в-третьих, на индивидуального человека с его конкретными потребностями и идейной мотивацией.

Исследователи говорят об общем информационном пространстве, которое охватывает все библиотечно-информационные и культурные ресурсы страны. Информационное пространство, по их мнению, – не сама библиотека, а совокупность социальных институтов, работающих с информацией, производящих и распространяющих ее. Иначе говоря, под таким пространством они понимают среду, в которой происходят информационная деятельность, обмен информацией. Как информационное пространство библиотека – это место циркуляции информации, в которой библиотечарь и читатель соединены отношением коммутации. Библиотеку также следует рассматривать и как культурное пространство, т. е. место, в котором вырабатываются правила, способствующие умению читать и мыслить, складывается библиотечный этос, в основе которого лежит уважение к своему труду и доброжелательное отношение к читателю. Нормативные свойства, библиотечная микросреда, с одной стороны, и контроль за информацией, обеспечение ее сохранности – с другой позволяют считать библиотеку не только информационным, но и культурным пространством.

В связи с повсеместным распространением и интенсивным ростом ресурсов Интернета перед современным обществом стоит задача составления специальных программ и методик работы с компьютером, развития компьютерной грамотности, поскольку вместе с появлением информационных технологий изменилось поведение многих читательских групп. Произошло расширение аудитории пользователей библиотек, в которой можно выделить несколько групп: читатели, ориентированные на книжную культуру; читатели журналов; обычные посетители, которые приходят за печатными источниками и за различной информацией; посетители культурных мероприятий, проводимых на базе библиотек; пользователи интернет-классов, компьютерных кружков<sup>1</sup>.

Библиотека в Интернете представляется нам энциклопедией знаний, в которой собраны различные тексты, художественная и научная литература, иная информация. Такое восприятие сливается с обычным образом Интернета как средством связи и способом получе-

---

<sup>1</sup> Чудинова В. П. Дети, библиотеки и новые информационные технологии // Библиотековедение. 2002. № 5. С. 44–45.

ния оригинальность информации (фантастический мир и другая реальность). Отношение к библиотеке и оценка ее функций и качественных характеристик соответствуют отношению разных читательских групп к Интернету в целом. Притом, чем старше пользователи Интернета, тем более негативно их мнение. Это относится и к библиотекарям. Дети чаще всего связывают с Интернетом функции общения и получения информации. Они говорят об Интернете как о мировой компьютерной сети, облегчающей работу, как об энциклопедии знаний и нужных вещей. Большинство подростков умеют играть на компьютере при помощи разных приставок, но только треть из них умеет работать по программам текстовых редакторов. В Интернет они обращаются для скачивания информации, прослушивания музыки, игры в сети, переписки по электронной почте и общения в чатах. Библиотекари в своих оценках и представлениях отзываються об Интернете более осторожно и сухо. Они считают, что пользователям необходима помощь в работе с компьютером, рекомендации и консультации наподобие руководства чтением, так как в сети много избыточной и недостоверной информации. Интернет для библиотекарей, особенно женщин, выступает в качестве определенного субъекта. Подростки и дети, напротив, не воспринимают его в виде целостного образа человека, для них Интернет скорее неизвестный фактор, неоднозначное явление<sup>1</sup>.

Интернет сегодня проник во все сферы жизни отдельного человека и цивилизации в целом. Означает ли его появление и стремительное распространение переход к новой культуре – электронной? Чтобы в этом разобраться, кроме проведения практических исследований нужно вникнуть в суть явления и осмыслить его с социально-культурных позиций. Библиотека в Интернете является одним из социально-культурных учреждений сети, которое имеет свое место и «страничку» наряду с сайтами реально существующих библиотек (например, [www.ban.spb.ru](http://www.ban.spb.ru)). Исследования Интернета как феномена современной культуры и его взаимодействия с другими средствами массовой коммуникации немногочисленны и сводятся к анализу общих характеристик сети и оценочных реакций общества. Данные этих анализов и практических результатов позволят в будущем сформулировать общие законы и методологию Интернета, что, возможно, приведет к образованию новых наук, например интернетики. Появление такой науки связывают с необходимостью создать и использовать рефлексивное отображение происходящего в сети средствами специфической научно-практической дисциплины<sup>2</sup>. Многоаспектность и многогранность Интернета требуют разных подходов и различных направлений в его изучении, и поэтому представляется важным взаимодействие «интернетики» с кибернетикой, информатикой и даже психологией, поскольку проблема общения становится чуть ли не самой главной. Ведь от правильного общения с компьютером и верной формулировки запросов зависят и результаты поиска информации, и успех в обмене информацией и услугами.

В сети Интернет человек может быть одновременно библиотекарем, читателем, автором, редактором, т. е. выступать в любых роли и качестве. В связи с этим на первый план выходит некоторое преимущество информационных технологий и Интернета (его можно назвать условным) перед библиотеками, музеями, архивами – бесконечное число интерпретаций, возможность постоянно изменять, дополнять, копировать тексты. Интернет и текстовые базы данных являются хорошими помощниками при поиске универсальных сведений, общей информации и литературы. Конкретный запрос, поиск книги с определенным названием тре-

---

<sup>1</sup> Кабачек О. Л. Интернет в оценках подростков и библиотекарей // Библиотековедение. 2002. № 6. С. 54–55.

<sup>2</sup> Журавлев Г. Е. Интернет: Психологические проблемы решения // Прикладная психология. 2002. № 5–6. С. 32–52.

бует оптимально налаженной системы поиска, совершенствования ее технологий, чтобы читатель или пользователь затрачивал минимум времени на ожидание информации о книге из сети и получал более точные сведения об интересующем его предмете.

Интернет-библиотека содержит текстовые и справочные информационные базы данных, серверы провайдеров и услуг, сайты и чаты. Порядок и системность в такой библиотеке относительны и зависят, во-первых, от создателя и организатора серверов и библиотеки, во-вторых, от гибкости и мобильности данной системы и все большей интеграции наук, опирающихся на совокупность знаний, необходимых одной науке. Речь идет о том, что любая отрасль знания развивается на основе целого комплекса источников, собранных из разных дисциплин. Пример тому антропология, представляющая собой единство наук о человеке – биологии и философии.

Пользователи сети сталкиваются с трудностями в общении с Интернетом в следующих случаях:

- при получении информации в поисковых системах, когда на мониторе отображаются тысячи ответов на тематический запрос, из которых реально можно ознакомиться с первыми 30–40 вариантами. В этом случае успех поиска сводится к минимуму, так как точный ответ на определенный запрос находится очень редко – чаще всего дается общая характеристика предмета или пользователя отсылают к другим источникам;

- при необходимости совмещения материалов, предназначенных для разных категорий пользователей, в процессе создания справочных систем, так как специалистам достаточно общей информации, а прочим зачастую необходимы пояснения и подробности;

- при отсутствии каких-либо правил и норм поведения в киберпространстве. Тут возникает проблема адекватного восприятия и взаимопонимания обеих сторон – компьютера и пользователя. Имеет смысл говорить о регулировании и саморегулировании Интернета, о создании правовой базы и новых научных и практических дисциплинах, объектом изучения которых станут информационные ресурсы и процессы общения в Интернете.

Сегодня назрела острая необходимость в теоретических исследованиях, которые не только обобщают эмпирические данные, но и делают попытки аналитического осмысления Интернета. Единого определения Интернета нет; как и книга, он имеет множество разных трактовок в зависимости от того, какой аспект Сети исследуется. Интернет – это: 1) техническая среда и среда обитания; 2) культурное пространство; 3) сфера действия малых групп и отдельных личностей; 4) социотехническая система общения. Формально под Интернетом понимают техническую среду, т. е. совокупность линий связи и коммутаторов, соединяемых так называемым интернет-протоколом. Однако это лишь внешняя сторона Интернета. Сеть сетей – не просто «склад» информации, средоточие самых разнообразных по содержанию, формам, объемам информационных ресурсов, это все более адекватное структуре реального общества пространство, в котором действуют социальные институты, организации, отдельные люди<sup>1</sup>. Появился и прочно утвердился термин «население Интернета», что говорит о возникновении новой территории «жизни» общества, которая пока еще является виртуальным отражением нашей жизни. Таким образом, Интернет является сложной мобильной системой, в которой на разных основаниях взаимодействуют между собой и ведут культурный диалог различные сообщества и организации.

---

<sup>1</sup> Самыкин А. В. Интернет как социально-культурный феномен // Библиотекосведение. 2002. № 6. С. 53–58.

Каково влияние опосредованного компьютером знания на саму общественную коммуникацию? Новые средства распространения информации создают мировое сообщество. Главное же качественное изменение касается нового соотношения поверхности и глубины. Вместо картины внутренних органов животных или орнаментов, используемых для предсказания, поверхностью становится экран монитора, который сводит к минимуму нашу реакцию на анатомическую структуру человека или животного. Глубина – это невидимая программа, отвечающая на запрос пользователей. Виртуальная реальность – это не просто возможный мир, а действие, совершаемое нашим воображением, рассудком. Поэтому главным значением этого популярного словосочетания является указание на умение извлечь из глубины машины нужную информацию. При этом старые навыки наблюдения, проверки, доказательства уже неэффективны для диалога с машиной. Это изменение в способностях и умениях нуждается в осмыслении. Да и простой ввод данных и получение информации кажутся абсолютно не связанными между собой, поскольку тот, кто вводит данные, не совсем представляет себе, как воспримет их машина и какую информацию в ответ выдаст. Возьмем, например, недавний шахматный матч В. Крамника с компьютером. Как известно, Крамник проиграл не потому что был глупее машины. Напротив, стало очевидным различие машинного и человеческого в понимании заданной ситуации и реагировании на нее, в умении просчитывать множество ходов и вариантов и точности при ответе. Как сказал после матча Крамник: «Машина сделала меньше ошибок и потому выиграла». Таким образом, пропадают критерии, по которым происходит отклонение от коммуникации. Привязывая людей к экрану, фиксируя их тела, современные медиа дробят общественного субъекта на атомы. Возникает новый медиум, формы которого определяются компьютерными программами, выполняющими функции грамматики в письменности.

Доминирование информационной функции современных библиотек, появление огромных массивов аудиовизуальной информации в Интернете, деконструкция авторского текста и превращение книги из элемента материальной культуры в экранную форму, в гипертекст заставляет нас осознать электронную библиотеку как феномен аудиовизуальной культуры и изучать ее в контексте этой культуры и во взаимодействии с другими культурно-историческими типами библиотек.

*T. B. Markova*

#### *INFORMATION APPROACH IN THE LIBRARY DEVELOPMENT ANALYSIS*

*The main trends in the library development in the information society are considered. Attention is focused on the electronic library, its functions and peculiarities of work in it.*

**Library, electronic library, culture, information society, information approach**



УДК 621(091)

*И. Б. Вендик, О. Г. Вендик*

## **ЕЖЕГОДНЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТУДЕНЧЕСКИЙ СЕМИНАР ПО ПРИМЕНЕНИЮ НОВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ТЕХНИКЕ СВЧ**

*Описываются организация и развитие Международного студенческого семинара по использованию новых физических явлений в технике СВЧ. Семинар ежегодно собирает десятки студентов старших курсов и аспирантов из разных европейских стран, способствуя установлению научных и деловых контактов между людьми, стоящими на пороге самостоятельной научной деятельности.*

**Международный студенческий семинар, высокотемпературная сверхпроводимость (ВТСП), сверхвысокие частоты (СВЧ), метаматериалы, Государственная премия**

Международный студенческий семинар был организован в 1994 г. Семинар дал возможность студентам из разных стран представить и обсудить результаты своих научных исследований, а также установить научные и деловые контакты. Организатором и затем в течение многих лет председателем семинара был профессор СПбГЭТУ «ЛЭТИ» О. Г. Вендик. Первый семинар был проведен в Чалмерском техническом университете в Гётеборге (Швеция) при поддержке профессора Эрика Кольберга. В то время во многих странах существовал очень большой интерес к сверхпроводимости. Из-за этого первоначально семинар назывался «Международный студенческий семинар по высокотемпературным сверхпроводникам на СВЧ».

Организация Международного студенческого семинара по высокотемпературным сверхпроводникам на СВЧ была тесно связана с учебными занятиями, которые проводились в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» на ФЭТ и РТФ в начале 90-х гг. прошлого века. Конкретно нужно отметить, что в течение 10 лет (1992–2002 гг.) для студентов ФЭТ и РТФ в 9-м и 10-м семестрах проводились занятия по курсу «Криоэлектроника и технология», который был включен в учебный план как курс по выбору. В те годы специалисты в области физики твердого тела и электроники проявляли особый интерес к высокотемпературным сверхпроводникам. Специалисты СПбГЭТУ «ЛЭТИ» были в числе пионеров, сделавших первые успешные шаги в направлении

использования ВТСП в технике СВЧ [1]–[4]. По желанию студентов упомянутый курс по выбору читался на английском языке. Из числа студентов, изучавших его, и были отобраны первые участники Международного студенческого семинара.

В те годы проф. О. Г. Вендик тесно сотрудничал с Чалмерским техническим университетом в Гётеборге (Швеция), имея контракт на совместную работу. Из средств этого контракта и были выделены деньги на поездку в Швецию четырех студентов СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Для обеспечения занятий по названному курсу было подготовлено учебное пособие на английском языке, авторы пособия проф. И. Б. Вендик и О. Г. Вендик. В те годы авторы учебного пособия часто находились в командировках во многих европейских университетах, это способствовало подбору материала для лекций и совершенствованию качества английского языка. По итогам этой работы были написаны и изданы три части учебного пособия на английском языке:

1. Vendik I. B., Vendik O. G. High Temperature Superconductor Devices for Microwave Signal Processing. Pt. I. Physical Foundation of Superconductivity / Ed. by E. Kollberg; ТОО «Складень». СПб., 1997.

2. Vendik I. B., Vendik O. G., Kaparkov D. High Temperature Superconductor Devices for Microwave Signal Processing. Pt. II. Superconducting Microwave Circuits / Ed. by E. Kollberg; ТОО «Складень». СПб., 1997.

3. Vendik I. B., Vendik O. G., Samoilova T. B. High Temperature Superconductor Devices for Microwave Signal Processing. Pt. III. Josephson Effect and Other Nonlinear Phenomena in Superconductor at Microwaves / Ed. by E. Kollberg; ТОО «Складень». СПб., 1997.

Большую помощь авторам оказал профессор Чалмерского университета Эрик Кольберг, который взял на себя труд редактирования текста лекций на английском языке. Значительная часть тиража учебного пособия была закуплена шведской фирмой «Эриксон», которая в то время рассматривала возможность использования высокотемпературных сверхпроводников в системах телекоммуникации.

12 лет спустя интерес к высокотемпературной сверхпроводимости на СВЧ существенно снизился. Интерес исследователей, которые занимались приложением сверхпроводимости на СВЧ, переключился на другие перспективные физические явления. Поэтому название семинара в 2001 г. изменилось. Он стал называться: «Международный студенческий семинар по применению новых физических явлений в технике СВЧ». В программу семинара было включено рассмотрение обширного перечня физических явлений на сверхвысоких частотах в материалах, нашедших применение в микроэлектронике: полупроводниках, сегнетоэлектриках, сверхпроводниках и ферритах. Недавно программа была расширена за счет включения в нее новых искусственных материалов – так называемых метаматериалов. Такой широкий спектр проблем позволил привлечь к участию в семинаре студентов старших курсов и аспирантов, работающих в различных областях науки и техники. Начиная с 2007 г. семинар называется «Международный студенческий семинар по применению новых физических явлений в технике СВЧ и оптике».

Постепенно международный студенческий семинар стал известными во многих европейских странах. Работа семинара проводилась в Швеции, Франции, Германии и Великобритании. Три раза семинар собирался в Финляндии, пять раз в России. В таблице приведен перечень семинаров и университетов, в которых они проводились, а также фамилии профессоров, взявших на себя работу по организации семинара.

№	Дата	Университет-организатор	Страна, город	Организатор
1	Май 1994 г.	Чалмерский университет	Швеция, Гётеборг	Проф. Э. Кольберг
2	Май 1995 г.	СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	Россия, С.-Петербург	Проф. О. Г. Вендик
3	Май 1996 г.	Университет г. Лимож	Франция, Лимож	Проф. П. Гийон
4	Май 1997 г.	Бергский университет	Германия, Вупперталь	Проф. Х. Халупка
5	Май 1998 г.	СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	Россия, С.-Петербург	Проф. О. Г. Вендик
6	Май 1999 г.	Университет г. Оулу	Финляндия, Оулу	Проф. С. Леппявуори
7	Май 2000 г.	Бирмингемский университет	Англия, Бирмингем	Проф. М. Ланкастер
8	Сентябрь 2001 г.	СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	Россия, С.-Петербург	Проф. О. Г. Вендик
9	Октябрь 2002 г.	СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	Россия, С.-Петербург	Проф. О. Г. Вендик
10	Май 2003 г.	Хельсинкский технический университет	Финляндия, Хельсинки	Проф. С. Третьяков
11	Июнь 2004 г.	СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	Россия, С.-Петербург	Проф. И. Б. Вендик
12	Октябрь 2005 г.	СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	Россия, С.-Петербург	Проф. И. Б. Вендик
13	Май 2006 г.	Хельсинкский технический университет	Финляндия, Рованиemi	Проф. С. Третьяков
14	Август 2007 г.	Белфастский Королевский университет	Северная Ирландия, Белфаст	Проф. А. Щучинский

На фотографии (рис. 1) представлена группа участников и организаторов семинара, состоявшегося в 1998 г. в СПбГЭТУ «ЛЭТИ». В центре снимка – два создателя этого семинара: проф. Эрик Кольберг и проф. Орест Вендик. В первом ряду – проф. Ирина Вендик (*слева*) и доц. Маргарита Ситникова (*справа*). М. Ситникова играет существенную роль в организации семинара, будучи председателем Санкт-Петербургской секции Международного института электроники и электротехники (the St. Petersburg IEEE ED/MTT/AP Chapter).



Рис. 1

В 2005 г. организационный комитет семинара, возглавляемый проф. О. Г. Вендиком, решил присуждать премии за лучшие доклады на семинаре. Были приняты три уровня премий: 1) первая премия; 2) премия за лучшее теоретическое исследование; 3) премия за лучшую экспериментальную работу.

Число участников семинара увеличивалось год от года. Только 12 студентов из Швеции, России и Франции были участниками семинара в 1994 г. Для сравнения отметим, что в 12-м семинаре (2005 г.) приняли участие более 40 человек из Италии, Испании, Франции, Турции, Финляндии, Украины и России. Число участников семинара продолжает расти.

13-й семинар был организован Хельсинкским техническим университетом и проходил в Рованиemi, который известен как родина Санта Клауса. В Рованиemi участники семинара познакомились с резиденцией Санта Клауса и оленьим заповедником. 14-й семинар проходил в Северной Ирландии, он был организован Королевским университетом г. Белфаст. Для уча-

стников семинара была организована экскурсия по Северной Ирландии. В этот день по дорогам Северной Ирландии проходил марш оранжистов (яркий средневековый пережиток). В Белфасте участников семинара познакомили с кораблестроительным заводом, на котором в начале XX в. был построен знаменитый «Титаник». На фотографии (рис. 2) представлена группа участников около дока, в котором был построен лайнер (на переднем плане аспиранты СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Наталья Медведева и Михаил Одит).



Рис. 2

Несомненно, участие студентов в работе семинара расширяет их научные горизонты. Каждая сессия семинара начинается с учебной лекции, которые читают ведущие специалисты из различных университетов всего мира. Участие в семинаре – это великолепный старт в науке и дополнительное повышение квалификации. Все студенческие доклады, представленные на семинаре, регулярно публикуются в сборниках Трудов студенческого научного семинара (рис. 3).



Рис. 3

Многие выпускники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», прошедшие школу Международного студенческого научного семинара, продолжают успешно заниматься наукой. Среди них доцент кафедры ФЭТ Светлана Зубко (справа во втором ряду на рис. 1). В 2007 г. она написала и опубликовала статью о Международном студенческом научном семинаре в международном журнале «IEEE Microwave Magazine» [5]. Среди участников семинара аспиран-

ты проф. И. Б. Вендик Игорь и Ярослав Колмаковы, Дмитрий Холодняк и Павел Юдин, которым была присуждена Государственная премия Российской Федерации за 2003 г. для молодых ученых за выдающиеся работы в области науки и техники. Тема работы «Разработка планарных устройств сверхвысоких частот на основе высокотемпературных сверхпроводников». Участникам семинара были аспиранты СПбГЭТУ «ЛЭТИ», успешно защитившие кандидатские диссертации: Петр Петров (гражданин Болгарии, в настоящее время работает в Империял Колледж в Лондоне), Анатолий Деленив (в настоящее время работает в Чалмерском университете в Гётеборге), Владимир Шерман (долгое время работал в Техническом университете г. Лозанна). Отметим также следующих участников семинара: аспиранта университета г. Лимож Дидье Бурса, аспирантов Чалмерского университета Эрика Карлсона и Мартина Лёфгрена, аспирантов Бергского университета Арно Баумфалька и Михаэля Реппеля, аспиранта университета г. Оулу Эйно Якку, аспиранта технического университета г. Лозанна Константина Астафьева. Все они получили ученые степени доктора наук (PhD) и в настоящее время работают в западноевропейской промышленности.

Организация семинара была поддержана Санкт-Петербургской секцией Международного института электроники и электротехники (the St. Petersburg IEEE ED/MTT/AP Chapter) и Санкт-Петербургским союзом ученых. Кроме того, в течение последних четырех лет спонсором семинара выступает проект «Метаморфоза», входящий в шестую рамочную программу (6th Framework Program) Европейской Комиссии.

Интерес к применению высокотемпературной сверхпроводимости в технике СВЧ, с которой начинался семинар, не уменьшается. В СПбГЭТУ «ЛЭТИ» читаются учебные курсы по криоэлектронике. С помощью студентов, изучавших в 2004–2006 гг. курсы «Криоэлектроника и технология» на ФЭЛ и «Криоэлектроника СВЧ» на ФРТ, написанные в 1997 г. на английском языке учебные пособия были переведены на русский язык и активно используются при изучении названных курсов. В 2004–2006 гг. англоязычная версия учебного пособия была использована проф. И. Б. Вендик и О. Г. Вендик для чтения лекций в Пекине группе аспирантов Института физики Академии наук КНР.

В мае 2008 г. в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» планируется проведение 15-го Международного студенческого семинара по применению новых физических явлений в технике СВЧ и оптике. Как и все предыдущие, 15-й юбилейный семинар будет способствовать установлению научных и деловых контактов между молодыми людьми, стоящими на пороге самостоятельной научной деятельности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поверхностное сопротивление керамики Y-Ba-Cu-O в диапазоне ВЧ-СВЧ / М. Бельский, О. Г. Вендик, М. М. Гайдуков и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 46. С. 172–175.
2. Вендик О. Г. Феноменологическая модель биполярного сверхпроводника // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14, вып. 12. С. 1098–1102.
3. Вендик О. Г., Колесов С. Г. Приборы криогенной электроники // Высокотемпературная сверхпроводимость. М.: Знание, 1990.
4. Высокотемпературные сверхпроводники: физические принципы применения на СВЧ / Под ред. О. Г. Вендика. Л.: Энергоатомиздат, 1991.
5. Zubko S. P. The Annual International Student Seminar on Microwave Applications of Novel Physical Phenomena // IEEE Microwave Magazine. 2007. April. P. 91–92.

I. B. Vendik, O. G. Vendik

ANNUAL INTERNATIONAL STUDENT SEMINAR ON MICROWAVE APPLICATIONS  
OF NOVEL PHYSICAL PHENOMENA

*Organization and development of the International student seminar on microwave applications of novel physical phenomena is described. The seminar involves annually many graduate students from different European countries leading to establishment of scientific and business contacts between scientists being on the start of their own activity.*

**International Students Seminar, High Temperature Superconduction, Microwaves, Matematerials, State Prize**

УДК 621(091)

**Ю. Е. Лавренко**

*Посвящается памяти Ю. Я. Юрова и В. И. Винокурова*

## **ПЕРВЫЕ РАЗРАБОТКИ РАДИОСИСТЕМ СО СЛОЖНЫМ СИГНАЛОМ В ЛЭТИ**

*Рассматривается история разработки радиолокационных систем (РЛС) со сложным кодированным сигналом (в виде М-последовательности), осуществленной в ЛЭТИ на кафедре ТОР в 60-х гг. прошлого века.*

**Радиолокация, М-последовательности, ЛЭТИ, кафедра ТОР, Ю. Я. Юров, В. И. Винокуров, В. А. Фельдман, В. Е. Гантмахер**

В 1953 г. Ю. Я. Юров, тогда профессор кафедры теоретических основ радиотехники (ТОР) ЛЭТИ, был командирован в Пражский политехнический институт для чтения лекций об электродинамике клистронов. Там от аспирантов, обучавшихся в Массачусетском технологическом институте, он узнал о ведущихся в США работах, связанных с шумовыми сигналами. Вернувшись в СССР, он пришел к мысли о создании радиолокационной станции с шумовым сигналом, который не мог быть обнаружен обычным энергетическим разведывательным приемником (в котором сигнал обнаруживается при превышении им собственных шумов приемника). Эта идея вызвала интерес в Министерстве обороны, и в 1960 г. с одним из управлений ВВС был заключен договор на разработку теоретических обоснований такой станции, а также создания и испытания макета под шифром «Качели». В договор по настоянию Ю. Я. Юрова, тогда уже заведующего кафедрой ТОР, был включен пункт о разработке малошумящего вакуумного усилителя СВЧ для 3-сантиметрового диапазона волн.

В работе по новой теме участвовала большая часть преподавателей, аспирантов и сотрудников кафедры ТОР. Было создано несколько групп, каждая из которых занималась определенной частью работы. Одной из главных проблем было запоминание реализации шума, содержащейся в переданном сигнале. Демодулировать принятый отраженный сигнал предполагалось с помощью коррелятора. Решение проблемы запоминания было поручено группе доцента В. Б. Устинова, и довольно скоро был намечен путь ее решения – использование явления ядерного спинового эха. Однако в начале 60-х гг. появились первые публикации о методах генерации М-последовательностей (псевдошумового сигнала), и доцент В. А. Фельдман быстро создал макет такого генератора. Этот генератор позволял получить реализацию передаваемого сигнала с задержкой, кратной периоду тактовой частоты. Таким образом проблема запоминания была решена, и дальнейшая работа базировалась на использовании толь-

ко М-последовательностей. Группа В. Б. Устинова продолжала работать по своей тематике и образовала новое направление в области функциональной электроники. Успешная работа ее продолжалась до начала 90-х гг. В. А. Фельдман вскоре перешел на работу в филиал ЛЭТИ в Новгороде (позже – Новгородский политехнический институт, ныне университет им. Ярослава Мудрого). Там он организовал группу, которая на протяжении 8 лет успешно взаимодействовала с кафедрой ТОР. Эта группа также занималась кодами. После смерти В. А. Фельдмана группу возглавил выпускник ЛЭТИ, ученик проф. Юргенсона, В. Е. Гантмахер, до недавнего времени проректор университета им. Ярослава Мудрого.

Однако предстояло решить много других проблем. Так как сигнал перестал быть импульсным, магнетронные передатчики не годились, и тракт передачи должен был содержать только линейные усилители. К этому времени электронная промышленность освоила выпуск ламп бегущей волны (ЛБВ), и проблема усиления передаваемого и принимаемого сигнала была решена. Приемное устройство было решено реализовать в виде приемника прямого преобразования, на выходе СВЧ-тракта которого стоял коррелятор в виде резонаторного преобразователя частоты на ортогональных полях, разработанного ранее Ю. Я. Юровым.

На один вход подавался принятый сигнал, усиленный цепочкой ЛБВ, на второй – СВЧ-реализация задержанной М-последовательности от балансного модулятора, выполненного на таком же преобразователе частоты. Передаваемый сигнал (исходная М-последовательность) получался с помощью такого же балансного модулятора и усиливался ЛБВ. Так как СВЧ-сигнал для обоих модуляторов обеспечивался одним и тем же источником (отражательным клистроном 3-сантиметрового диапазона), то проблема сопряжения частот передатчика и гетеродина приемника отпадала. Поиск отраженного сигнала должен был осуществляться ручным способом – переключением задержки М-последовательности в канале коррелятора. Последовательность содержала 127 тактов с периодом тактовой частоты 1 мкс. Общее руководство разработкой и реализацией макета осуществлял доцент В. И. Винокуров, научное руководство – профессор Ю. Я. Юров.

К концу 1963 г. макет был готов к натурным испытаниям, которые проводились на полигоне НПО «Ленинец» в г. Пушкине. Так как длина последовательности равнялась 127 мкс, а размеры полигона были ограничены, использовался режим одновременных передачи и приема. В качестве целей использовались уголковые отражатели, расположенные на расстоянии 50–100 м от приемной и передающей антенн макета. Цели уверенно обнаруживались, хотя помехи от передатчика были очень сильными и было ясно, что эту проблему предстоит решать. Работа была принята заказчиком, хотя ее вторая половина (малошумящий вакуумный усилитель) не была реализована. Ко времени окончания работы (середина 1964 г.) В. И. Винокуров был назначен проректором по научной работе ЛЭТИ. Работы по этой тематике продолжились после заключения договора с ВМФ в 1966 г. Научными руководителями работы под шифром «Ордината» были Ю. Я. Юров и В. И. Винокуров, ответственным исполнителем – автор этой статьи. От заказчика курировал работу В. А. Генкин (в/ч 10729). Идеология разработанного макета была примерно та же, что и прежде, за исключением того, что был использован квазиимпульсный режим работы (излучалась полная реализация М-последовательности, после чего РЛС переходила на прием отраженного сигнала) и были переработаны приемник и передатчик. На входе приемника использовалась

малошумящая ЛБВ, на выходе передатчика – мощная (50 Вт) ЛБВ. Весь макет был выполнен на основе электровакуумных приборов, и только генератор М-последовательности – на транзисторах. В качестве антенны применялось параболическое зеркало с апертурой эллиптической формы размерами (по осям) 2×1 м. Эти изменения существенно увеличили потенциал нового макета по сравнению со старым. Кроме того, предполагалось излучать и принимать одновременно 10 каналов с одним и тем же сигналом, но разнесенных по отношению друг к другу по частоте на 1–2 МГц с целью увеличения потенциала при сохранении одной и той же спектральной плотности мощности. Однако это не было реализовано из-за нехватки времени. Натурные испытания проводились на полигоне в/ч 31210 в поселке Лагерное (между Судаком и Карадагом) в 1967–1968 гг. В ходе испытаний проверялись дальность обнаружения цели (небольшой сторожевой корабль) и дальность обнаружения сигнала РЛС энергетическим разведывательным приемником, находившимся на борту цели. Испытания показали, что дальность обнаружения цели существенно превышает дальность обнаружения сигнала РЛС разведывательным приемником. Таким образом была доказана возможность обеспечения скрытной работы РЛС, разумеется, при определенных ограничениях мощности ее передатчика и дальности обнаружения цели (в предположении, что разведывательный приемник располагается на ее борту). К времени окончания работы (1968 г.) В. И. Винокуров возглавил кафедру радиооборудования кораблей на новом «корабельном» факультете, и работы по тематике РЛС со сложными сигналами были переведены на эту кафедру, где успешно выполнялись до начала 90-х гг. По результатам обеих работ В. И. Винокуров защитил докторскую диссертацию.

Для своего времени эти работы носили пионерский характер. В настоящее время применение сложных сигналов используется главным образом для повышения отношения «сигнал/шум» на выходе приемного устройства, скрытность является сопутствующим фактором. Для обсуждаемых работ увеличение отношения «сигнал/шум» также являлось сопутствующим фактором. Известно (публикации Я. Д. Ширмана 1970 г.), что в конце 50-х – начале 60-х гг. в СССР и за рубежом разрабатывались РЛС с сигналом в виде радиоимпульса с линейной частотной модуляцией и сжатием его при приеме на дисперсионной линии задержки (так называемые чирп-радары). Однако использование сигнала в виде кода, конкретно М-последовательности, было первым опытом (по крайней мере, в СССР). То же самое можно сказать и о корреляционном приеме и о приеме по методу прямого преобразования. По существу, была также показана возможность кодового разделения сигналов. Интересно, что все эти решения используются и в самых современных радиосистемах. Таким образом, эти две довольно скромные по объему работы были предвестниками будущего развития радиосистем.

*Y. E. Lavrenko*

*THE FIRST DEVELOPMENTS OF THE RADIOSYSTEMS WITH A COMPOSITE SIGNAL IN LETI*

*Considered the History of Development a Radar with Coded (M-Sequence) Signal in LETI on the Chair of TOR during the Sixties of the Previous Age.*

**Radar, M-Sequence, LETI, Chair of TOR, Y. J. Yurov, V. I. Vinokurov, V. A. Feldman, V. E. Gantmacher**