Федеральное агентство по образованию

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР-2007

Материалы докладов
Всероссийской научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2008»
5–8 мая 2008 г.

В пяти частях

Часть 1

В-Спектр
Томск 2008

УДК 621.37/.39+681.518 (063)
ББК 32.84я431+32.988я431

Научная сессия ТУСУР–2008: Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 5–8 мая 2008 г.: В пяти частях. Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2008. –280 с.

ISBN 978-5-91191-080-8
ISBN 978-5-91191-081-5 (Ч. 1)

Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвящены различным аспектам разработки, исследования и практического применения радиотехнических, телевизионных и телекоммуникационных систем и устройств, сетей электро- и радиосвязи, вопросам проектирования и технологии радиоэлектронных средств, аудиовизуальной техники, бытовой радиоэлектронной аппаратуры, а также автоматизированным системам управления и проектирования. Рассматриваются проблемы электроники СВЧ- и акустооптоэлектроники, физической, плазменной, квантовой, промышленной электроники, радиотехники, информационно-измерительных приборов и устройств, распределенных информационных технологий, автоматизации технологических процессов, в частности, в системах управления и проектирования, информационной безопасности и защиты информации. Представлены материалы по математическому моделированию в технике, экономике и менеджменте, по антикризисному управлению, автоматизации управления в технике и образовании. Широкому кругу читателей будет доступна информация о социальной работе в современном обществе, о философии и специальной методологии, экологии, о мониторинге окружающей среды и безопасности жизнедеятельности, инновационных студенческих идеях и проектах.

УДК 621.37/.39+681.518 (063)
ББК 32.84я431+32.988я431

ISBN 978-5-91191-080-8
ISBN 978-5-91191-081-5 (Ч. 1)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2008

Федеральное агентство по образованию
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Всероссийская научно-техническая конференция студентов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР – 2008» 5–8 мая 2008 г.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- **Кобзев А.В.** – председатель, ректор ТУСУР, д.т.н., профессор
- **Ремпе Н.Г.** – сопредседатель, проректор по НР ТУСУР, д.т.н., профессор
- **Шурыгин Ю.А.** – первый проректор ТУСУР, заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор
- **Ехлаков Ю.П.** – проректор по информатизации ТУСУР, д.т.н., профессор
- **Уваров А.Ф.** – проректор по экономике ТУСУР, к.э.н.
- **Малютин** Н.Д. – заместитель проректора по НР ТУСУР, д.т.н., профессор
- **Казьмин Г.П.** – нач. отдела по инновационной деятельности Администрации г. Томска, к.т.н.
- **Малюк А.А.** – декан фак-та информационной безопасности МИФИ, к.т.н., г. Москва
- **Беляев Б.А.** – зав. лабораторией электродинамики Ин-та физики СО РАН, д.т.н., г. Красноярск
- **Разинкин В.П.** – к.т.н., доцент каф. ТОР НГТУ, г. Новосибирск

- **Лукин В.П.** – директор отд. распространения волн, почетный член Американского оптического общества, д.ф.-м.н., профессор, Ин-т оптики атмосферы СО РАН, г. Томск
- **Кориков А.М.** – зав. каф. АСУ ТУСУР, заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор
- **Московченко А.Д.** – зав. каф. философии ТУСУР, д.ф.н., профессор
- **Шарыгин Г.С.** – зав. каф. РТС ТУСУР, д.т.н., профессор
- **Пустынский И.Н.** – зав. каф. ТУ ТУСУР, заслуженный деятель науки и техники РФ, д.т.н., профессор
- **Шелупанов А.А.** – зав. каф. КИБЭВС ТУСУР, д.т.н., профессор
- **Пуговкин А.В.** – зав. каф. ТОР ТУСУР, д.т.н., профессор
- **Осипов Ю.М.** – зав. отделением каф. ЮНЕСКО при ТУСУР, академик Международной академии информатизации, д.т.н., д.э.н., профессор
- **Грик Н.А.** – зав. каф. ИСР ТУСУР, д.ист.н., профессор

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- **Ремпе Н.Г.** – председатель, проректор по НР ТУСУР, д.т.н., профессор
- **Ярымова И.А.** – зам. председателя, заведующий ОППО ТУСУР, к.б.н.
- **Акулиничев Ю.П.** - председатель совета по НИРС РТФ, д.т.н., профессор каф. РТС ТУСУР
- **Еханин С.Г.** – председатель совета по НИРС РКФ, д.ф.-м.н., профессор каф. КУДР ТУСУР
- **Коцубинский В.П.** – председатель совета по НИРС ФВС, зам. зав. каф. КСУП ТУСУР, к.т.н., доцент
- **Мицель А.А.** – председатель совета по НИРС ФСУ, д.т.н., профессор каф. АСУ ТУСУР
- **Орликов Л.Н.** – председатель совета по НИРС ФЭТ, д.т.н., профессор каф. ЭП ТУСУР
- **Казакевич Л.И.** – председатель совета по НИРС ГФ, к.ист.н., доцент каф. ИСР ТУСУР
- **Куташова Е.А.** – секретарь оргкомитета, инженер ОППО ТУСУР, к.х.н.

ЭКСПЕРТНЫЙ КОМИТЕТ

- **Ремпе Н.Г.** – председатель, проректор по НР ТУСУР, д.т.н., профессор
- **Малютин Н.Д.** – заместитель проректора по НР ТУСУР, д.т.н., профессор
- **Уваров А.Ф.** – проректор по экономике ТУСУР, к.э.н.
- **Казьмин Г.П.** – нач. отдела по инновационной деятельности администрации г. Томска, к.т.н.
- **Авдзейко В.И.** – зам. руководителя НИЧ ТУСУР, к.т.н.
- **Шелупанов А.А.** – зав. каф. КИБЭВС, д.т.н., профессор
- **Мещеряков Р.В.** – к.т.н., доцент каф. КИБЭВС
- Представители фонда Бортника (по согласованию), г. Москва

Конференция **«Научная сессия ТУСУР – 2008»** вошла в число аккредитованных мероприятий по Программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (У.М.Н.И.К.) Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (МП НТС) при поддержке Роснауки и Рособразования (фонд Бортника) (**http://www.fasie.ru/**).

Экспертным комитетом конференции при работе секции «У.М.Н.И.К.» будут отобраны молодые (до 28 лет включительно) ее участники – победители в номинации «За научные результаты, обладающие существенной новизной и среднесрочной (до 5–7 лет) перспективой их эффективной коммерциализации» с последующим финансированием проектов НИОКР.

ПОРЯДОК РАБОТЫ, ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ

Работа конференции будет организована в форме пленарных, секционных и стендовых докладов.

Конференция проводится
с 5 по 8 мая 2008 г.
в Томском государственном университете
систем управления и радиоэлектроники

Регистрация участников будет проводиться
перед пленарным заседанием в главном корпусе ТУСУР
(пр. Ленина, 40) в актовом зале **5 мая с 9:00 до 10:00**.

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН – *председатель* ***Шарыгин Герман Сергеевич,*** *зав. каф. РТС, д.т.н., профессор; зам. председателя* ***Тисленко Владимир Ильич,*** *к.т.н., доцент каф. РТС*

Секция 2. ЗАЩИЩЕННЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ – *председатель* ***Голиков Александр Михайлович,*** *к.т.н., доцент каф. РТС*

Секция 3. АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, БЫТОВАЯ РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА И СЕРВИС – *председатель* ***Пустынский Иван Николаевич,*** *зав. каф. ТУ, д.т.н., профессор; зам. председателя* ***Костевич Анатолий Геннадьевич,*** *к.т.н., доцент каф. ТУ*

Секция 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИООБОРУДОВАНИЯ – *председатель* ***Масалов Евгений Викторович,*** *д.т.н., профессор каф. КИПР, зам. председателя* ***Михеев Евгений Николаевич,*** *м.н.с.*

Подсекция 4.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИОМЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ – *председатель* ***Еханин Сергей Георгиевич,*** *д.ф.-м.н., профессор каф. КУДР, зам. председателя* ***Молошников Василий Анатольевич,*** *аспирант каф. КУДР*

Подсекция 4.2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ – *председатель* ***Михеев Евгений Николаевич,*** *м.н.с.*

Секция 5. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ – *председатель* ***Катаев Михаил Юрьевич,*** *д.т.н., профессор каф. АСУ, зам. председателя* ***Бойченко Иван Валентинович,*** *к.т.н., доцент каф. АСУ*

Секция 6. КВАНТОВАЯ, ОПТИЧЕСКАЯ И НАНОЭЛЕКТРОНИКА – *председатель* ***Шарангович Сергей Николаевич,*** *зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н., доцент; зам. председателя* ***Буримов Николай Иванович,*** *к.т.н., доцент каф. ЭП*

Секция 7. ФИЗИЧЕСКАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА – *председатель* ***Троян Павел Ефимович,*** *зав. каф. ФЭ, д.т.н., профессор*

Секция 8. РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ – *председатель* ***Ехлаков Юрий Поликарпович,*** *проректор по Информатизации ТУСУР, зав. каф. АОИ, д.т.н., профессор; зам. председателя* ***Сенченко Павел Васильевич,*** *к.т.н., доцент каф. АОИ*

Секция 9. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ – *председатель* ***Ходашинский Илья Александрович,*** *д.т.н., проф. каф. АОИ; зам. председателя* ***Лавыгина Анна Владимировна,*** *аспирант каф. АОИ*

Секция 10. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ – *председатель* ***Давыдова Елена Михайловна,*** *к.т.н., ст. преподаватель каф. КИБЭВС; зам. председателя* ***Конев Антон Александрович,*** *к.т.н. каф. КИБЭВС*

Секция 11. АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ – *председатель* ***Шурыгин Юрий Алексеевич,*** *первый проректор ТУСУР, зав. каф. КСУП, д.т.н., профессор; зам. председателя* ***Коцубинский Владислав Петрович,*** *зам. зав. каф. КСУП, к.т.н., доцент*

Подсекция 11.1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ – *председатель* ***Черкашин Михаил Владимирович,*** *к.т.н., ст. преподаватель каф. КСУП*

Подсекция 11.2. АДАПТАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИМИТАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ – *председатель* ***Коцубинский Владислав Петрович,*** *зам. зав. каф. КСУП, к.т.н., доцент*

Подсекция 11.3. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ СЛОЖНОГО ПРОЦЕССА – *председатель* ***Хабибуллина Надежда Юрьевна,*** *к.т.н., ст. преподаватель каф. КСУП*

Подсекция 11.4. МЕТОДЫ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ – *председатель* ***Дорофеев Сергей Юрьевич,*** *аспирант каф. КСУП*

Секция 12. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ – *председатель* ***Шелупанов Александр Александрович,*** *зав. каф. КИБЭВС, д.т.н., профес-*

сор; зам. председателя ***Мещеряков Роман Валерьевич,*** *к.т.н., доцент каф. КИБЭВС*

Секция 13. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА – *председатель* ***Светлаков Анатолий Антонович,*** *зав. каф. ИИТ, д.т.н., профессор; зам. председателя* ***Шидловский Виктор Станиславович,*** *к.т.н., доцент каф. ИИТ*

Секция 14. РАДИОТЕХНИКА – *председатель* ***Титов Анатолий Александрович,*** *д.т.н., профессор каф. РЗИ; зам. председателя* ***Семенов Эдуард Валерьевич,*** *к.т.н., доцент каф. РЗИ;*

Секция 15. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА – *председатель* ***Михальченко Геннадий Яковлевич****, д.т.н., профессор каф. ПрЭ; зам. председателя* ***Семенов Валерий Дмитриевич,*** *зам. зав. каф. ПрЭ по НР, к.т.н., доцент каф. ПрЭ*

Подсекция 15.1. СИЛОВАЯ И ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА В СИСТЕМАХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ – *председатель* ***Михальченко Геннадий Яковлевич****, д.т.н., профессор каф. ПрЭ; зам. председателя* ***Семенов Валерий Дмитриевич,*** *зам. зав. каф. ПрЭ по НР, к.т.н., доцент каф. ПрЭ*

Подсекция 15.2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В УСТРОЙСТВАХ ПРОМЫШЛЕННОЙ И СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ – *председатель* ***Селяев Александр Николаевич****, д.т.н., профессор каф. ПрЭ; зам. председателя* ***Шевелев Михаил Юрьевич,*** *к.т.н., доцент каф. ПрЭ*

Секция 16. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕХНИКЕ, ЭКОНОМИКЕ И МЕНЕДЖМЕНТЕ – *председатель* ***Мицель Артур Александрович,*** *д.т.н., профессор каф. АСУ; зам. председателя* ***Зариковская Наталья Вячеславовна,*** *к.ф.-м.н., доцент каф. ФЭ*

Подсекция 16.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУКАХ – *председатель* ***Зариковская Наталья Вячеславовна,*** *к.ф.-м.н., доцент каф. ФЭ*

Подсекция 16.2. МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИМИТАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ В ЭКОНОМИКЕ – *председатель* ***Мицель Артур Александрович,*** *д.т.н., профессор каф. АСУ; зам. председателя* ***Ефремова Елена Александровна,*** *аспирант каф. АСУ*

Подсекция 16.3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА – *председатель* ***Сергеев Виктор Леонидович,*** *д.т.н., профессор каф. АСУ*

Секция 17. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ – *председатель* ***Осипов Юрий Мирзоевич,*** *зав. отделением каф. ЮНЕСКО при ТУСУР, д.э.н., д.т.н., профессор; зам. председателя* ***Василевская Наталия Борисовна,*** *к.э.н., доцент каф. экономики*

Секция 18. АНТИКРИЗИСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ – *председатель* ***Семиглазов Анатолий Михайлович,*** *д.т.н., профессор каф. ТУ; зам. председателя* ***Бут Олеся Анатольевна,*** *ассистент каф. ТУ*

Секция 19. ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ – *председатель* ***Карташев Александр Георгиевич,*** *д.б.н., профессор каф. РЭТЭМ*

Секция 20. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ – *председатель* ***Хорев Иван Ефимович,*** *д.т.н., профессор каф. РЭТЭМ; зам. председателя* ***Полякова Светлана Анатольевна,*** *к.б.н., доцент каф. РЭТЭМ*

Секция 21. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЦИАЛЬНОЙ РАБОТЫ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ – *председатель* ***Грик Николай Антонович,*** *зав. каф. ИСР, д.ист.н., профессор; зам. председателя* ***Казакевич Людмила Ивановна,*** *к.ист.н., доцент каф. ИСР*

Секция 22. ФИЛОСОФИЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ – *председатель* ***Московченко Александр Дмитриевич,*** *зав. каф. философии, д.ф.н., профессор; зам. председателя* ***Раитина Маргарита Юрьевна,*** *к.ф.н., доцент каф. философии*

Секция 23. ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ, СТУДЕНЧЕСКИЕ ИДЕИ И ПРОЕКТЫ – *председатель* ***Уваров Александр Фавстович,*** *проректор по экономике ТУСУР, к.э.н.; зам. председателя* ***Чекчеева Наталья Валерьевна,*** *зам. директора студенческого Бизнес-инкубатора (СБИ), к.э.н.*

Секция 24. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ – *председатель* ***Дмитриев Вячеслав Михайлович,*** *зав. каф. ТОЭ, д.т.н., профессор; зам. председателя* ***Андреев Михаил Иванович,*** *к.т.н., доцент ВКИЭМ*

Секция 25. ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШКОЛЬНИКОВ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ – *председатель* ***Корнеева Татьяна Борисовна,*** *заместитель директора по методической работе ОЦ «Школьный университет»; зам. председателя* ***Нехорошева Юлия Геннадьевна,*** *начальник учебно-методического отдела ОЦ «Школьный университет», к.т.н., доцент*

Секция 26. СИСТЕМЫ И СЕТИ ЭЛЕКТРО- И РАДИОСВЯЗИ – *председатель* ***Пуговкин Алексей Викторович,*** *зав. каф. ТОР, д.т.н., профессор, к.т.н.; зам. председателя* ***Демидов Анатолий Яковлевич,*** *к.т.н., доцент каф. ТОР*

Материалы научных докладов,
представленные на конференцию, опубликованы в сборнике
«НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР – 2008»
в пяти частях

1-я часть сборника включает доклады 1–7-й секций;
2-я часть – доклады 8, 9, 11, 13, 14, 15-й секций;
3-я часть – доклады 10 и 12-й секции;
4-я часть – доклады 16–18-й секций;
5-я часть – доклады 19–26-й секций.

Адрес оргкомитета:

634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 40, ГОУ ВПО «ТУСУР»,
Научное управление (НУ), к. 205
Тел.: 8-(3822)-51-47-57, 52-79-42
E-mail: eak@main.tusur.ru

СЕКЦИЯ 1

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

*Председатель – **Шарыгин Г.С.,** зав. каф. РТС, д.т.н., профессор;*
*зам. председателя – **Тисленко В.И.,** к.т.н., доцент каф. РТС*

ОСОБЕННОСТЬ АЛГОРИТМОВ СОПРОВОЖДЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ПЕРЕОТРАЖЕНИЙ

Е.П. Ворошилина, аспирант; В.И. Тисленко, к.т.н., доц.
ТУСУР, г. Томск, Raliens@kvadro.net

Под сопровождением цели понимается автоматическое продолжение и уточнение параметров траектории ее движения по зашумленным измерениям. Тривиальный случай этой задачи – оценка координат неподвижной цели. В пассивной радиолокации широко применяется разностно-дальномерный метод оценки координат источника радиоизлучения (ИРИ). Координаты определяются по разностям моментов прихода сигнала в разнесенные измерительные пункты. Потенциальная точность определения местоположения источников радиоизлучения зависит:

1) от свойств самой системы (геометрическое расположение приемных пунктов, шумы приемника, точность синхронизации и т.д.).

2) от условий распространения радиосигнала.

На приземных трассах большое влияние на погрешность измерения разности времени прихода сигнала оказывают неровности рельефа и местные предметы. Сигнал, отраженный от объектов местности, может быть зафиксирован в приемном пункте и воспринят как отметка от цели. Это приведет к неверной оценке координат ИРИ. На приземных трассах плотность ложных отметок (переотражений от местности) высока. Обычные алгоритмы (фильтр Кальмана, метод наименьших квадратов и др.) в этом случае не обеспечивают устойчивость процесса фильтрации. Улучшение их характеристик реализуется в алгоритмах, которые осуществляют как фильтрацию, так и распределение (селекцию) отме-

ток. Процесс распределения предполагает принятие решения о принадлежности отметки к классу ложных или к классу порожденных целью. В работе выполнено исследование, которое включает в себя:

- обзор существующих методов сопровождения целей при наличии переотражений;
- проверку их работоспособности для случая определения координат неподвижного ИРИ на экспериментальных данных;
- синтез модифицированного алгоритма.

Алгоритмы сопровождения целей при наличии переотражений

Последние 40 лет проблема сопровождения целей при наличии переотражений активно обсуждается в литературе и уже сформировалась довольно развитая теория. Эволюция алгоритмов фильтрации берет свое начало с фильтра Кальмана (ФК), а алгоритмов распределения отметок – с метода ближайшего соседа. К настоящему времени уже имеется огромное количество подходов к решению задачи сопровождения:

1. Алгоритм *JPDA*: все отметки участвуют в формировании текущей оценки состояния цели, но с разными весами [1]. Вес соответствует вероятности того, что данная отметка действительно принадлежит цели. Сама оценка формируется с помощью ФК.

2. Алгоритм *MHT*: по каждой из отметок траектория расщепляется на множество ветвей, каждой из которых присваивается вес, равный соответствующей функции правдоподобия [2]. В целях ограничения числа ветвей, правдоподобие которых не превышает заданного порога, отбрасываются. Оценка для каждой траектории формируется с помощью ФК.

3. Алгоритм *PMHT*: оценка формируется по максимуму апостериорного распределения состояния цели, который находится с помощью итеративного алгоритма максимизации ожидания [3].

4. Алгоритм *MSDA*: на нескольких тактах работы системы выбирается наблюдение ближайшее к предсказанному (ближайший сосед) [4]. По этим наблюдениям с помощью вейвлет-преобразования формируется единый образ. Он используется для обновления оценки состояния цели алгоритмом фильтрации Калмана.

5. Алгоритм *MC-JPDA*: процедура распределения данных, как у *JPDA,* но оценка состояния формируется не с помощью ФК, а с помощью фильтра частиц [5]. В отличие от ФК, который аппроксимирует апостериорное распределение состояния цели гауссовым распределением, фильтр частиц представляет его совокупностью точек – частиц. Это позволяет решать нелинейную задачу фильтрации для случая негауссовых шумов.

Это далеко не полный, но основной перечень существующих подходов к решению задачи сопровождения целей при наличии переотраже-

ний. Синтез алгоритмов выполнен при условии, что распределение ложных отметок равномерное, а их количество подчиненно пуассоновскому закону распределения. Только в алгоритме MSDA модель ложных отметок не имеет значения, однако это не гарантирует работоспособностиь алгоритма в сложных помеховых ситуациях.

Проверка работоспособности алгоритмов на экспериментальных данных

Рассматривалась задача определения координат неподвижного ИРИ, работающего в режиме кругового обзора, разностно-дальномерным методом. Разности моментов прихода сигнала формировались по данным трех измерительных пунктов.

Моделировалась работа алгоритма JPDA. Он является наиболее популярным на практике. Результат моделирования показал несостоятельность алгоритма при работе в данных условиях (наблюдалась неприемлемая погрешность в определении координат ИРИ). Вызвано это тем, что реальное распределение ложных отметок не было равномерным, более того – оно многомодально. Логично предположить, что и другие алгоритмы в этом случае покажут неудовлетворительный результат (предположение основано на глубоком понимании механизма работы каждого из алгоритмов). Зависимость времени запаздывания отраженного сигнала от угла отворота антенной системы ИРИ была близка к параболической. Это обусловлено тем, что отраженный сигнал формируется неким непрерывным протяженным объектом, расположенным на трассе распространения. Если источник излучения окружен закрывающим горизонт препятствием со всех сторон, то при сканировании излучающей антенны формирование отраженных сигналов будет происходить с превалирующим участием этих препятствий. При этом возникает сложнейшая помеховая обстановка, которая не позволяет определить координаты цели даже алгоритмами, предназначенными для сопровождения целей при наличии помех. Таким образом, возникает задача синтеза модифицированного алгоритма, приспособленного к работе в таких условиях. Появилась следующая идея решения этой задачи [6]: воспринимать объекты преимущественного переотражения как дополнительные цели и оценивать их координаты алгоритмом *JPDA*. Затем по определенным признакам выбрать ту цель, которая действительно являлась первичным ИРИ. Моделирование алгоритма показало его состоятельность. Максимальное значение ошибки места при определении координат ИРИ составило 80 м. на трассе протяженностью 12 км. Для окончательных выводов о точностных характеристиках модифицированного алгоритма требуются дальнейшие исследования.

Литература

1. *Kirubaraian T., Bar-Shalom Y.* Probabilistic data association techniques for target tracking in clutter // Proc. IEEE. 2004. Vol. 92. № 3. P. 536–557.

2. *Chang K-C., Mori S., Chong C-Y.* Evaluating a multiple-hypothesis multitarget tracking algorithm // Proc. IEEE. 1994. Vol. 30. № 2. P. 578–588.

3. *Efe M., Ruan Y, Willett P.* Probabilistic multi-hypothesis tracker: addressing some basic issues // Proc. IEEE. 2004. Vol. 151. № 4. P. 189–196.

4. *Tian H-W., Jing Z-L.* A multi-space data association algorithm for target tracking systems // Proc. IEEE. 2007. Vol. 12. № 4. P. 608–617.

5. *Vermaak J., Godsill S.J., Perez P.* Monte Carlo filtering for multi target tracking and data association // Proc. IEEE. 2005. Vol. 41. №1. P. 309–332.

6. *Ворошилина Е.П., Тисленко В.И.* Определение координат источника радиоизлучения при наличии переотражений // Электронные средства и системы управления. Опыт инновационного развития: Доклады Международной научно-практической конференции. Томск, 2007. Ч. 1. С. 14–16.

ИЗМЕРЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ИЗОТРОПНО ИЗЛУЧАЕМОЙ МОЩНОСТИ (Э.И.И.М.) ПО НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ

А.А. Андреев,студент 5-го курса; В.И. Ефанов. к.т.н., доцент

ТУСУР, г. Томск, fpk@main.tusur.ru

Э.и.и.м. является важным параметром передатчика, значение которого требуется при определении зоны покрытия и рабочего радиуса действия; зоны РЧ помех для других приемников; РЧ опасности для персонала радиоуправляемых самолетов, складов вооружения и горючего, а также при контроле излучений космического аппарата. [1]

Согласно п. 1.161 Регламента радиосвязи «эквивалентная изотропно излучаемая мощность (э.и.и.м): произведение мощности, подводимой к антенне, на коэффициент усиления этой антенны в заданном направлении относительно изотропной антенны (абсолютный или изотропный коэффициент усиления)».

Э.и.и.м. может быть рассчитана по формуле:

$$\text{э.и.и.м.} = P_t + G_t - L \text{, дБм} \qquad (1)$$

где P_t – выходная мощность передатчика (дБм); G_t – коэффициент усиления передающей антенны в направлении приемника, (дБ), относительно передающей антенны; L – потери в линии и согласующих элементах.

С другой стороны, э.и.и.м передатчика можно измерить по напряженности поля в приемнике (для случая распространения в свободном простанстве):

$$\text{э.и.и.м.} = E + R_{\text{loss}} + X_{\text{pol}} + 20\log(d) - 44{,}78\text{, дБм} \qquad (2)$$

где E – напряженность поля в приемнике, дБ (мкВ/м); R_{loss} – потери в линии передачи на приеме: потери в кабелях, питания и за счет рассогласования, дБ; X_{pol} – потери за счет рассогласования поляризаций (развязка приемной и передающей антенн), дБ; d – расстояние между передатчиком и приемником, км.

Таким образом целью данной работы было измерение э.и.и.м передатчика по напряженности поля по формуле (2) и сравнение с результатом расчета по формуле (1).

Измерения проводились в городе Кемерово в Радиочастотном центре. В качестве передатчика были выбраны ТВ-передатчики, расположенные на ОРТПЦ г. Кемерово.

Для измерения использовалась следующая аппаратура:

– анализатор спектра 3772;

– антенны DP1 и DP3 (для диапазонов 0,3–300 и 300–1000 МГц соответственно).

При сравнении расчетов и измерений выяснилось, что расхождение значений составляет на более 3 дБ, что является хорошим результатом сравнения теории и практики. При измерениях мы не могли учесть погрешности связанные с распространением сигнала в городских условиях: многолучевость при распространении, а также наличие индустриальных помех высокого уровня. Еще одним фактором, снижающим точность измерений, являлся нестационарный характер передаваемых сигналов (для измерения использовался передатчик, работающий в штатном режиме).

Приведем пример.

Передатчик 9 ТВК имеет следующие характеристики:

Параметры передатчика

Коэффициент усиления антенны (дБ)	Высота передающей антенны (м)	Мощность излучения (Вт)	Затухание фидера на 100м (дБ)
СУВ-32 8,3	172	5000	0,49

Считая длину кабеля примерно 200 м, по формуле (1) получаем: э.и.и.м. = 74,3 дБм.

При измерениях были получены следующие данные:

E = 110,17 дБ (мкВ/м);

D = 2392 м;

$R_{\text{loss}} \approx 1$ дБ;

$X_{pol} \approx 0$ дБ (так как приемная и передающая антенна имели горизонтальную поляризацию).

По формуле (2) получили э.и.и.м. = 72,3.

Наши эксперименты показали актуальность поднятых в [2] проблем измерений параметров сигналов источников радиоизлучений.

Литература

1. *Справочник* по радиоконтролю. МСЭ, 2002. 620 с.

2. *Харченко И.П.* Измерение при мониторинге использования спектра // Тезисы доклада. 7-й Международный симпозиум по электромагнитной совместимости и экологии в Санкт-Петербурге, 2007.

ВАРИАЦИИ СНЧ-ОНЧ СПЕКТРОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА DEMETER

Д.Б. Аюров, аспирант; Д.Г. Буянова, к.ф.-м.н.; Ю.Б. Башкуев, д.т.н., проф.

ОФП БНЦ СО РАН, г. Улан-Удэ, buddich@mail.ru

Одной из задач ионосферных исследований с использованием спутника DEMETER является поиск ионосферных возмущений, связанных с сейсмической активностью [1]. Основная цель доклада – исследование ионосферного отображения редкого геофизического явления – полного солнечного затмения 29 марта 2006 г. по данным спутника DEMETER. Полное солнечное затмение 29 марта 2006 г. началось в 08 ч 36 мин по всемирному времени (UT) в Бразилии у восточной оконечности Южной Америки и закончилось в 11 ч 46 мин на территории Монголии вблизи границы с Россией [http://www.astrogalaxy.ru/]. Спутник DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions) был запущен 29 июня 2004 г. на круговую полярную орбиту с наклонением 98,3° и высотой ~710 км. DEMETER контролируется из Тулузы (Франция) [1]. Научными целями программы DEMETER являются [http://demeter.cnrs-orleans.fr/]: 1) исследование возмущений ионосферы, связанных с сейсмической активностью, изучение до- и послесейсмических эффектов; 2) изучение ионосферных возмущений, связанных с антропогенной деятельностью, и механизмов генерации этих возмущений; 3) получение динамических данных о глобальном электромагнитном окружении Земли на высоте ~710 км. Научное оборудование DEMETER состоит из пяти инструментов: 1) ICE, электрические датчики E_x, E_y, E_z от постоянного тока до 3,5 МГц; 2) IMSC, магнитные датчики H_x, H_y, H_z от нескольких Гц до 20 кГц; 3) IAP, анализатор ионов;

4) IDP, детектор энергичных частиц; 5) ISL, детектор Лэнгмюра. На рис. 1 показана ОНЧ-сонограмма по электрической (ICE) компоненте в диапазоне 0–20 кГц, полученная на спутнике DEMETER в течение одной ночной полуорбиты 29 марта 2006 г. Спектр по электрической компоненте представлен с орбитальными данными: мировое время/местное время (UT/LT), широта, долгота, инвариантная широта/высота. На ночных сонограммах четко выделяются сигналы СДВ радиостанций (особенно по электрической компоненте), в то время как на дневных они имеют меньший уровень из-за существенно большего затухания в слое дневной ионосферы (механизм боковой волны). Горизонтальные линии – сигналы СДВ радиостанций: f = 11,9; 12,65 и 14,88 кГц (Система Альфа, Россия), f = 17,8; 18,2; 18,6; 19,8 кГц (NWC, Австралия). В таблице даны частоты и координаты СДВ радиостанций Восточного полушария, сигналы которых регистрируются на высотах спутника DEMETER [2]. Сигналы принимаются на спутнике за счет просачивания через ионосферу, которая наиболее прозрачна для СДВ радиоволн ночью и наименее прозрачна днем. На рис. 2 показана сонограмма дневной орбиты 09253_0 в период солнечного затмения, начавшегося в 08:36 UT. До начала затмения с 08:24:30 UT на дневной стороне выделяются спектральные линии СДВ радиостанций 11,9; 12,64; 14,88; 16,56 (DFY) кГц. Спектральные линии 18,3 кГц (UFT) и 19,8 кГц (NWC) появляются на короткий период времени. После 08:50 UT уже во время затмения на сонограмме в течение ~10 мин отмечены интенсивные излучения на частотах около 19,8; 18,3 и 16,56 кГц. Они занимают более широкую полосу 0,3–0,5 кГц и группируются относительно несущих частот. Их появление мы связываем с куполообразным возмущением ионосферы вследствие затмения и резкого понижения уровня электронной концентрации вблизи максимума затмения, проходящего в экваториальной зоне между Атлантическим океаном и Центральной Африкой.

Частоты и координаты СДВ радиостанций Восточного полушария

Частота, кГц	Место расположения	Долгота	Широта
11,9; 12,64; 14,88	Краснодар, Россия	38,39	45,02
11,9; 12,64; 14,88	Новосибирск, Россия	82,58	55,04
11,9; 12,64; 14,88	Комсомольск на Амуре, Россия	136,58	50,34
16,56	DFY, Германия	13,0	52,5
17,8	JP, Южная Япония	~130	~32
18,3	UFT, Франция	1,05	46,37
19,8	NWC, Австралия	114,08	–21,47

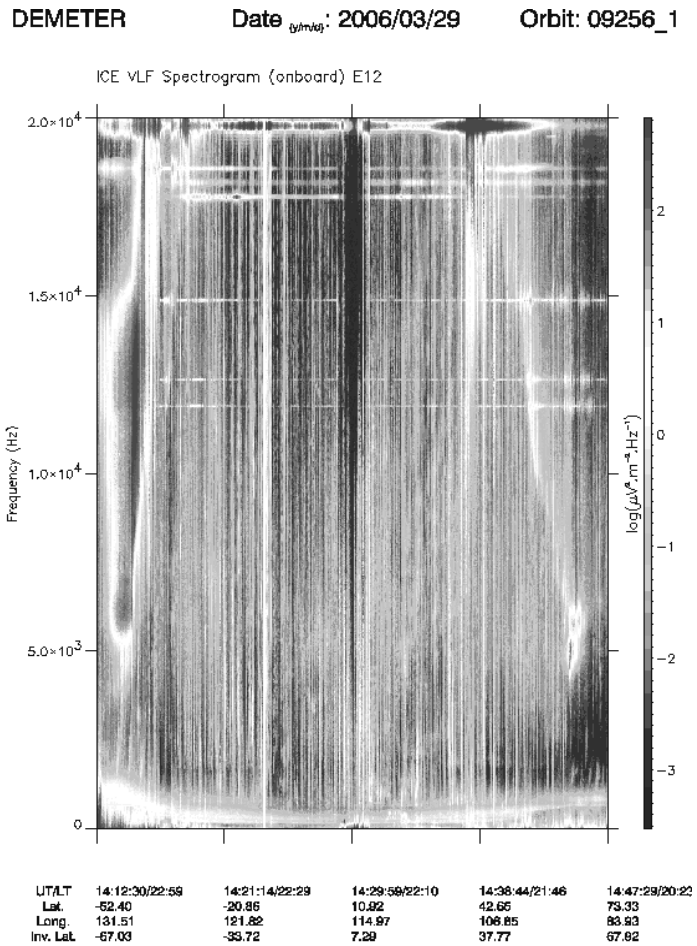


Рис. 1. Сонограмма электрической компоненты в диапазоне 0–20 кГц, полученная на борту спутника DEMETER в течение одной ночной полуорбиты 29 марта 2006 г.

Сигналы СДВ радиостанций, принимаемых спутником DEMETER, могут быть использованы для изучения ионосферных возмущений, связанных с землетрясениями. Так, М. Хаякава, предложил оригинальный способ [2] обработки сигналов австралийской радиостанции NWC по отношению сигнал/шум и оценил диаметр ионосферного возмущения ~ 3000 км, которое могло быть предвестником катастрофического Андаманского землетрясения 26 декабря 2004 г.

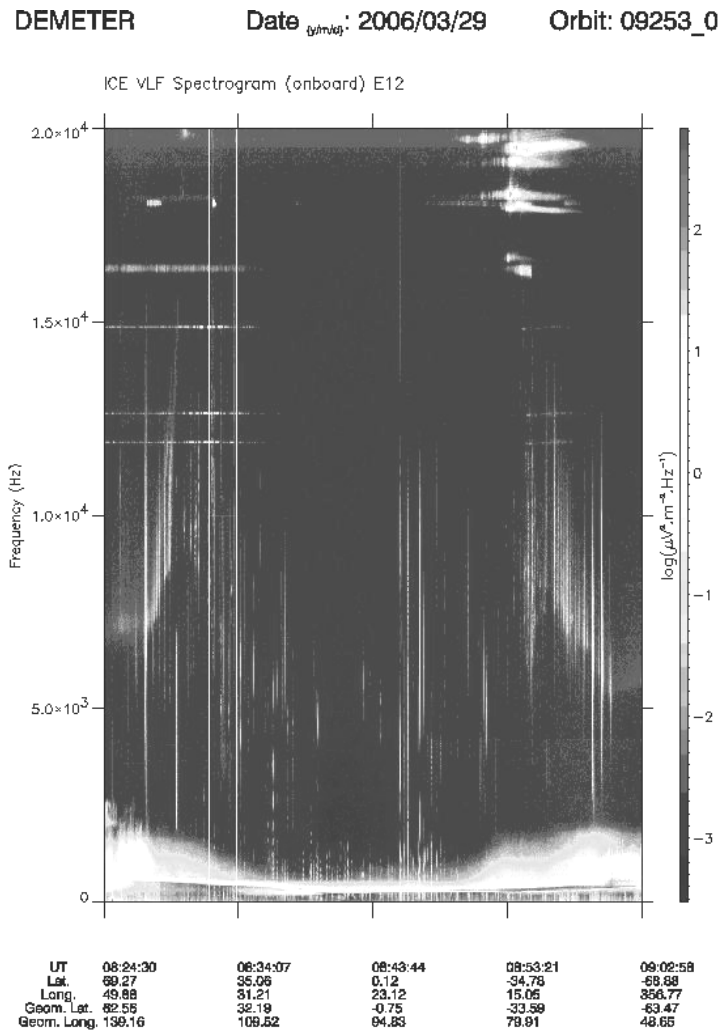


Рис. 2. Сонограмма электрической компоненты в период затмения 29 марта 2006 г.

Таким образом, анализ данных спутника DEMETER показал:

− В ночных сонограммах отчетливо выделяются сигналы СДВ радиостанций. В дневных спектрах слабые сигналы радиостанций наблюдаются эпизодически, так как имеет место более слабое просачивание из волновода «Земля–ионосфера» через ионосферу на высоты ~710 км.

− На спутниковых спектрограммах в полосе 0,1–1,2 кГц установлен максимум спектральной плотности по электрической и магнитной составляющим в полосе 200–500 Гц [3]. Такой же максимум установлен на наземных ночных спектрах в зимнее и летнее время [4].

− Для исследования сейсмоэлектромагнитных преобразований в Байкальской рифтовой зоне предложено комплексирование данных спутника DEMETER, цифрового ионозонда DPS-4 и GPS- станции ULAZ.

Авторы выражают благодарность проф. М. Парро за представленные материалы программы DEMETER.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке СО РАН и РФФИ (Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 87 и грант РФФИ № 08-02-98007).

Литература

1. *Parrot M., Berthelier J.J., Lebreton J.P., Sauvard J.A., Santolik O., Blecki J.* Examples of unusial ionospheric observation made by the DEMETER satellite over seismic regions // Physics and Chemistry of the Earth. Elsevier, 2006. Vol. 31. P. 486−495.

2. *Hayakawa M.* Diagnostics of ionospheric perturbations associated with seismicity using VLF transmitter signals received on DEMETER satellite // Natural electromagnetic phenomena and electromagnetic theory. Tokyo. December 2006. P. 12–21.

3. *Santolík O., Němec F., Parrot M., Berthelier J. J.* Wave propagation analysis using multi-component wave measurements on board the DEMETER spacecraft // Guest Investigator Workshop. Paris, 2–4 May 2005, santolik.ppt.

4. *Башкуев Ю.Б., Буянова Д.Г., Миткинов Е.М., Хаптанов В.Б.* Особенности вариаций спектров во время солнечного затмения 22 июля 1990 г. // Распространение электромагнитных волн. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1993. С. 79−85.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ КООРДИНАТ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА НА ДИСПЛЕЕ ЭВМ ПРИ СЧИТЫВАНИИ ДАННЫХ С GPS-ПРИЕМНИКА

А.А. Бызов, А.А. Голубых, А.С. Лясота,студенты каф СРС,
науч. рук. С.В. Мелихов, д.т.н., проф.
РТФ ТУСУР, г. Томск, taure@sibmail.com

Что такое GPS? Принцип работы системы

GPS – глобальная система позиционирования. Состоит из 24-х низко-орбитальных спутников, передающих сигналы на частоте более 1 ГГц, и пользовательских приемников, определяющих по этим сигналам свои координаты. Период обращения спутников составляет примерно 12 ч.

Принцип работы системы спутниковой навигации таков. Приемник навигационных сигналов измеряет задержку распространения сигнала от каждого из видимых спутников до приемника. Задержка сигнала, умноженная на скорость света – расстояние от спутника до приемника. Из принятого сигнала приемник получает информацию о положении спутника [1].

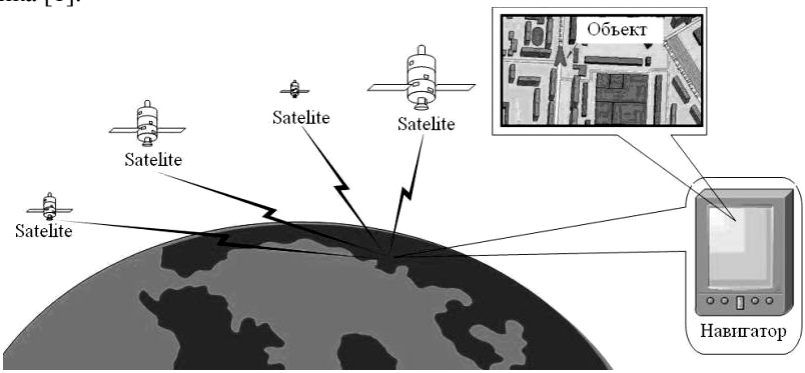


Рис. 1. Принцип работы системы спутниковой навигации

Цель проекта

Целью данного проекта является разработка системы и программного обеспечения для отображения координат объекта на мониторе ЭВМ при считывании данных с GPS-приемника. Первоначально стоит цель отображения одного объекта на экране ЭВМ, но впоследствии ставится задача отображения большего числа объектов, порядка 10–100.

Назначение разрабатываемого продукта: контроль машин на рейсе; контроль персонала на большом предприятии – контроль перемещения сотрудников, оснащенных соответствующим оборудованием; контроль железнодорожных вагонов и поездов; слежение за морским грузом.

По итогам системного анализа рынка аналогов выделено три основных программных продукта: Навител Навигатор, ГИС Русса и Palm GIS GPS. Их функциональные возможности предполагается включить в данный проект. Такие как:

• Отображение на экране монитора диспетчера параметров объекта: координат, скорости передвижения объекта, реального времени и даты, информации о пробках, времени предполагаемого прибытия.

• Формирование списка бортов, работающих на линии.

• Ведение и хранение журналов изменения местоположения и состояния бортов в формате стандартной базы данных.

• Определение расстояния между начальным и конечным пунктами.

• Предупредительные сигналы при приближении к объекту.

• Поддержка множества форматов карт.

• Передача водителем диспетчеру тревожного сигнала в случае внештатной ситуации.

• Передача сигнала от датчиков/реле.

• При нахождении объекта вне зоны радиовидимости информация о координатах заносится в буфер и передается диспетчеру при появлении радио канала.

• Вызов диспетчером бортов, находящихся в заданном районе; границы района определяет оператор.

В мире существует множество аналогов таких систем и ПО. Как правило, софт пишут, допуская множество недостатков и недочетов, а также допуская неудобства с работой самого софта. Мы хотим учесть большинство недостатков, сделать софт более простым, доступным, удобным для работы. А также реализовать возможность конфигурации системы, что подразумевает не универсальность, но узкую направленность работы системы и ее пониженную стоимость.

Особенность данной работы – использование новой современной коммуникационной платформы «mototrbo» фирмы Motorola, официальным дилером которой в г. Томске является фирма «Элком+», под чьим руководством мы и работаем. В состав оборудования входят: ретранслятор, портативная и мобильная радиостанции.

Новое оборудование поможет улучшить систему и сделать ее более универсальной, так как в состав радиостанций включены GPS-приемник, интерфейсы для передачи данных телеметрии, а также USB-порт, при подключении которого к ПК можно свободно выйти в сеть. Можно снимать данные с датчиков (например, движения) и передавать их по радиоканалу, не устанавливая для этого дополнительных контроллеров.

Техническое задание

По выявленным особенностям сформировано техническое задание:

1. На первоначальном этапе разработать программное обеспечение, выполняющее:

– отображение на экране монитора диспетчера даты, времени и параметров объекта: местоположения, скорости и направления;

– формирование списка бортов, работающих на линии;

– ведение и хранение журналов изменения местоположения и состояния бортов в формате стандартной базы данных.

2. На последующем этапе выполнить расширение функционала, обеспечить возможность работы с внешними устройствами и увеличение числа объектов.

Программа будет реализована на языке программирования «C++», так как он наиболее универсален и большинство ПО поддерживают его, ориентированная на ОС Windows XP.

Работа системы

Приемное устройство GPS, установленное на подвижном объекте, получает со спутников необходимую информацию, определяет время и дату, высчитывает свои координаты и передает эту информацию по радиоканалу на базовую станцию, на ЭВМ оператора, где и будет установлено наше ПО.

На рис. 2 представлен принцип работы системы.

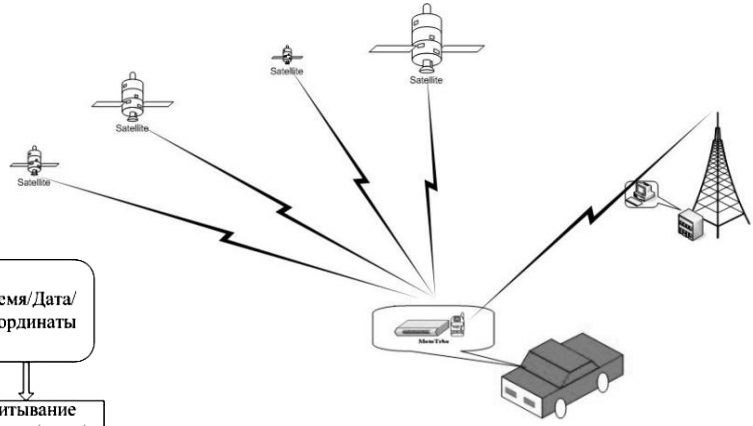


Рис. 2. Принцип работы системы

Функциональная схема программы

С выхода приемника через одинаковые периоды времени поступает поток информации: время, дата и координаты приемника в трехмерном пространстве. Задача – правильное выделение и упорядочивание этих данных.

Далее программой производится расчет направления движения и скорости объекта на основе известных координат данного и предыдущего измерений и времени между ними.

Формирование базы данных производится структурированной записью полученных измерений в отдельный файл.

Рис. 3. Функциональная схема программы

Отдельным пунктом стоит формирование сетки координат и наложение на нее карты местности с последующей привязкой по координатам.

Результаты каждого измерения выводятся на экран монитора, с отображением на карте объекта и при необходимости его параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Петрова А.М.*, *Мильичин Ф.М.*GPS: Все, что вы хотели знать, но боялись спросить. Неофициальное пособие по глобальной системе местоопределения. М.: Бук-персс и К, 2005. 32 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОРАДАРНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ СПАССКОЙ ЦЕРКВИ В г. ИРКУТСКЕ

А.А. Дмитриев; Т.Б. Жемердеева; Л.В. Козиенко, к.т.н.;
****Ю.Б. Башкуев, д.т.н., проф; *В.Б. Хаптанов, к.ф-м.н.***
Иркутский Государственный Университет Путей Сообщений,
г. Иркутск, dmtaa@irgups.ru.
**Отдел физических проблем Бурятского научного центра СО РАН,*
г. Улан-Удэ, gphys@hotbox.ru

По просьбе иркутской Епархии проведено георадарное обследование площади вблизи Спасской церкви в г. Иркутске, включающее южную, северную и восточную стороны строения. Цель работ – поиск и уточнение местоположения инженерных коммуникаций и погребенных фундаментов ранее существовавших северного предела и обходной галереи. Экспериментальные исследования проведены методом георадарного зондированияе в СВЧ диапазоне (георадар «Око-2» с антенным блоком АБ-700 МГц). В целом обследовано 1426 погонных метров площади. С северной стороны площади как на продольных, так и на поперечных радарограммах четко видна теплотрасса, проложенная вдоль стены церкви под небольшим углом к ней (рис. 1). На поперечных профилях (рис. 2) на расстоянии 2–4 метров от стены здания видны металлические трубы теплотрассы, уложенные в бетонный желоб. Границы желоба видны после дополнительной обработки.

На радарограммах южной стороны на глубинах от 1 до 3 м не отмечаются какие-либо значительные неоднородности. Приповерхностная часть всех профилей в целом достаточно выдержана по составу грунта и не содержит в себе четко выделяемых остатков фундамента и деревянных конструкций.

Особенность всех южных поперечных профилей (рис. 3, 4) связана с появлением нижней наклонной границы, разделяющей, по-видимому, два разных типа грунта. По нашему мнению, нижний слой соответствует

плотным грунтам (возможно глинистым), сверху залегают грунты другого состава, возможно насыпанные при строительстве церкви и в более позднее время после строительства церкви. В верхней части почти всех радарограмм отмечены периодические области повышенного отражения и ослабления радиосигнала. Эти области мы связываем с различной степенью уплотнения грунта. В этих местах, возможно, были вырыты узкие траншеи, в которых находились лиственничные бревна нижней части обходной галереи. Проведенная георадарная съемка и интерпретация результатов зондирования выявила местоположение теплотрассы и определила наклонные границы раздела разнородных по составу грунтов (древнего материнского и более молодого грунта, возможно, искусственного происхождения, перемещенного из других мест).

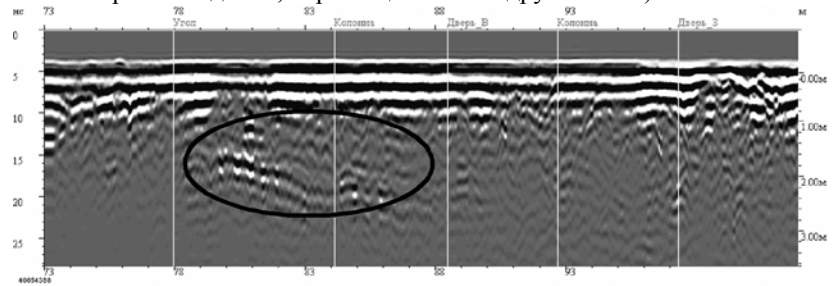


Рис. 1. Радарограмма продольного профиля на расстоянии 4,5 м от стены церкви (антенный блок АБ-700)

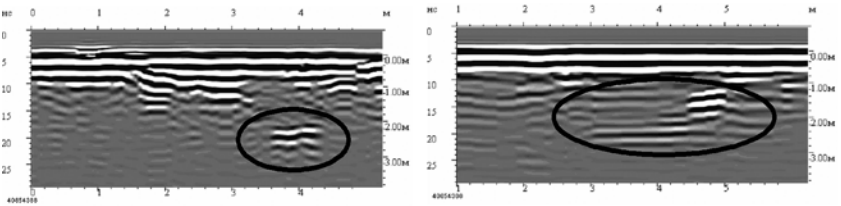


Рис. 2. Радарограммы поперечных профилей в районе северной стены церкви

Основными результатами проведенных работ являются: отсутствие остатков фундамента северного предела, скорее всего он был уничтожен при строительстве теплотрассы, и выявление мест возможного расположения деревянного фундамента обходной галереи.

Георадарный метод успешно применен также при обследовании ряда археологических объектов (гуннское городище под г. Улан-Удэ, раскопки в районе с. Фофаново Кабанского района РБ), взлетно-посадочной полосы аэропорта г. Иркутск, на железнодорожном транспорте и при оценке качества строительства многоэтажных зданий. Применение гео-

радиолокационного метода позволяет проводить радиогеофизические, экологические и археологические обследования на новом научно-техническом и технологическом уровне, дает возможность значительно сократить финансовые и временные затраты для получения объективной информации. Высокая пространственная плотность экспериментальных данных по площади съемки дает возможность получать устойчивые «изображения» исследуемой среды.

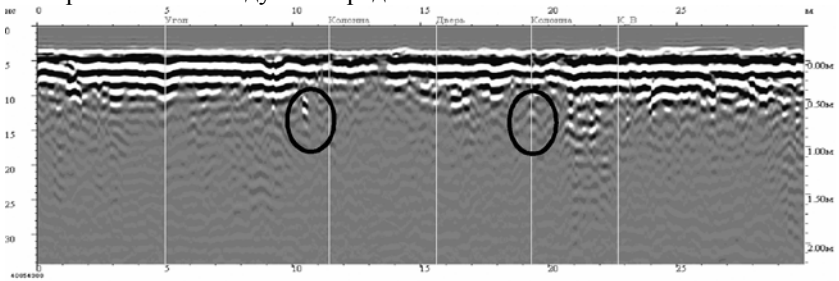


Рис. 3. Продольный профиль вдоль южной стороны церкви

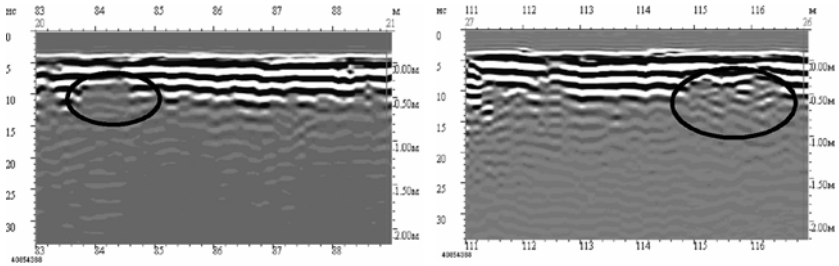


Рис. 4. Поперечные профили с южной стороны Спасской церкви

При проведении ряда работ применялась методика комплексирования радиоимпедансного и георадарного зондирований. Сочетание радиолокационного принципа зондирования среды короткими электромагнитными импульсами со спектром в диапазоне 50–1700 МГц, реализованного в георадаре (глубинность 0,1–30 м), с методом радиоимпедансного зондирования непрерывными сигналами радиостанций в диапазоне 0,01–1000 кГц (глубинность до сотен метров в диапазоне ОНЧ и до километров на СНЧ) позволит получить подробную информацию о геоэлектрическом строении верхней части земной коры. Преимуществом такого подхода будет возможность изучения как проводимости, так и диэлектрической проницаемости геоэлектрического разреза среды, высокая разрешающая способность малоглубинных зондирований и более высокая точность измерений при использовании полей искусственных

источников. Следует отметить, что методики георадарных и радиоимпедансных зондирований дополняют друг друга и позволяют выйти на новое качество исследований.

Доклад подготовлен при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-02-98007).

УСТАНОВКА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

А.С. Вершинин, А.А. Будаев, студенты
А.А. Мещеряков, к.т.н., доц.
ТУСУР, vershkoff@mail.ru, bozon@sibmail.com

Гроза – атмосферное явление, при котором внутри облаков или между облаком и земной поверхностью возникают электрические разряды – молнии, сопровождающиеся громом. Как правило, гроза образуется в мощных кучево-дождевых облаках и связана с ливневым дождем, градом и шквальным усилением ветра. Гроза является к одним из самых опасных для человека природных явлений, по количеству зарегистрированных смертельных случаев только наводнения приводят к большим людским потерям.

Под мониторингом грозовых образований понимается установление факта наличия гроз в данное время и определение их характеристик, в частности, места возникновения молниевых разрядов. Радиомониторинг предполагает, что сбор информации о молниях ведется путем анализа электромагнитных волн в радиодиапазоне. Существуют два метода определения очага грозовых образований – активный (радиолокационный) и пассивный. Активный метод подразумевает наличие мощного радиолокатора, посылающего зондирующий сигнал и обрабатывающего отраженный сигнал от грозового образования в атмосфере. Пассивный метод основывается на регистрации и обработке сигнала, исходящего непосредственно от молнии. В рассматриваемом случае радиомониторинг грозовых образований производится пассивным способом, т.е. путем приема и обработки собственного радиоизлучения молний, физически являющихся искровыми разрядами.

Атмосферик, как радиосигнал от молнии, представляет собой импульс, появление которого совершенно случайно. Длительность импульса составляет доли секунды, напряженность поля на расстояниях 10–50 км от молнии доходит до единиц вольт на метр. Спектр такого сигнала сплошной и широкий, имеет почти линейное убывание с ростом частоты. Спектр низкочастотный, наибольшая интенсивность лежит в области 5–15 кГц, простирается спектр до более высоких частот.

Назначение установки заключается в частичном решении задач мониторинга: принять электромагнитный сигнал, излучаемый молнией, оцифровать с помощью АЦП и записать полученные результаты в файл на компьютере. Затем файл можно использовать для анализа и расчета характеристик молний, получения спектра и т.д.

Для регистрации грозовых разрядов используется установка, структурная схема которой приведена на рис. 1.

В ее состав входят следующие блоки:

Пр – приемник

АЦП 1 – аналого-цифровой преобразователь с временем оцифровки 250 мс.

АЦП 2 – быстродействующий аналого-цифровой преобразователь с минимальным временем оцифровки 50 нс и объемом памяти 1024 слова.

БФИЗ – блок формирования импульса запуска АЦП-2.

Блок сопряжения с ЭВМ.

ЭВМ – компьютер.

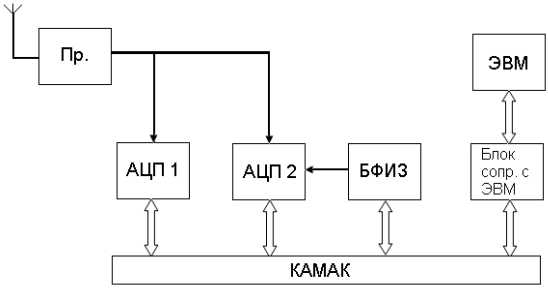


Рис. 1. Структурная схема установки

Приемник включает в себя штыревую антенну и усилитель с полосой частот от сотен герц до 20 МГц. Блоки регистрации и оцифровки грозовых разрядов построены на основе системы КАМАК, предназначенной для сопряжения измерителей с ЭВМ. Система КАМАК сконструирована по блочному принципу. Она состоит из каркаса, шины питания и сигнальных шин, к которым подключаются блоки, выполняющие функции чтения, записи и т.д. 11-разрядный АЦП-1 предназначен для оцифровки принимаемого сигнала с частотой дискретизации 4 кГц. Программным способом реализован цифровой кольцевой буфер в памяти ЭВМ. Быстродействующий АЦП-2 имеет разрядность 8 и пред-назначен для оцифровки высокочастотной составляющей принимаемого сигнала с частотой дискретизации 20 МГц. Недостаток АЦП-2 заключается в том, что его нужно запускать отдельно от сигнала отрицательным наноимпульсом. БФИЗ необходим для формирования импульса запуска для АЦП-2, который формируется по команде с ЭВМ. Блок сопряжения с ЭВМ служит для формирования команд между шиной КАМАК и ЭВМ.

Принцип работы установки заключается в следующем. АЦП-1 постоянно оцифровывает сигнал и передает его значения через блок сопряжения на ЭВМ. Полученные цифровые значения записываются в память ЭВМ в кольцевой буфер. При заполнении буфера запись начинается сначала. Размерность кольцевого буфера определяется длительностью сигнала разряда молнии. В момент превышения оцифрованным сигналом установленного программным путем порога производится запись значений в кольцевой буфер до конца и формируется сигнал на запуск АЦП-2. АЦП-2 оцифровывает сигнал с более высоким быстродействием и записывает результат оцифровки в собственный буфер памяти. Данные кольцевого буфера АЦП-1 и данные АЦП-2 записываются в файл данных. В файл также записывается время превышения сигналом установленного порога.

С помощью программы, находящейся на ЭВМ, осуществляется задание необходимых параметров для работы системы, таких как количество буферной памяти, шаг квантования, время предыстории и другие, проводится дальнейший контроль и запись формы зарегистрированных сигналов.

На рис. 2 и 3 приведена форма сигналов, оцифрованных АЦП-1 и АЦП-2.

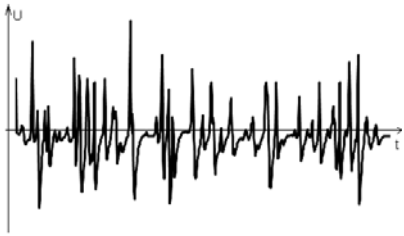


Рис. 2. Сигнал, оцифрованный АЦП-1

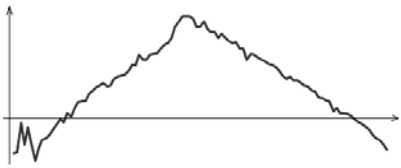


Рис. 3. Сигнал, оцифрованный АЦП-2

Из графиков видно, что сигнал, оцифрованный АЦП-2, выглядит более растянутым, так как время оцифровки у него намного меньше, чем у АЦП-1. С помощью данной установки предполагается зарегистрировать несколько грозовых разрядов для набора статистики, чтобы судить о параметрах сигнала от молнии.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

П.В. Полюхович, студент 4-го курса; Б.П. Дудко, к.т.н., проф.
ТУСУР, г. Томск, ppv@sibmail.com

Для высокоточного (сантиметры) определения относительных координат объектов с помощью GPS используются фазовые измерения на несущей частоте, которые являются неоднозначными, т.е. включают в себя неизвестные целые числа. Для оценки координат с высокой точностью необходимо найти эти целые числа – разрешить неоднозначность. Для разрешения неоднозначности используются грубые, но однозначные измерения псевдодальностей. Ошибки этих измерений составляют примерно 10 м и определяют границы области поиска целых чисел. Одной из существенных причин ошибок является многолучевое распространение сигналов. Ошибки из-за многолучевого распространения обычно превышают ошибки, вызванные собственными шумами аппаратуры. Поэтому при доминировании ошибок многолучевости способы разрешения неоднозначности работают неэффективно. Устранение неоднозначности наиболее эффективно при гауссовском распределении ошибок. Поэтому стремятся нормализовать ошибки многолучевости привлечением как можно большего числа измерений. Заметная нормализация происходит тогда, когда число спутников равно 10 и более, что бывает редко, поэтому наряду с использованием GPS часто дополнительно привлекаются спутники ГЛОНАСС. При использовании двухчастотных приемников, работающих в диапазонах L1 и L2, для эффективной нормализации ошибок к измерениям в диапазоне L1 добавляют примерно столько же измерений в диапазоне L2 [2].

В практике обработки фазовых измерений по сигналам GPS/ГЛОНАСС исключают влияние расхождения шкал времени разнесенных приемников и разрешают фазовую неоднозначность [1].

Целью настоящей работы является экспериментальная оценка точности фазовых измерений, а также сравнение ошибок определения координат с применением фазового уточнения и без него.

Эксперимент проводился с помощью локальной дифференциальной спутниковой навигационной системы, созданной на кафедре радиотехнических систем ТУСУР. Антенна опорной станции располагалась на крыше учебного корпуса в точке с известными координатами: широта 56°27,10862′; долгота 084°57,71968′. На удалении порядка 10 м от антенны опорной станции располагалась антенна выносной станции. В непосредственной близости от антенн находилась надстройка с метал-

лической крышей. Антенна опорной станции размещалась на уровне крыши надстройки, а выносной – ниже ее. На опорной и выносной станциях использовались одночастотные приемники GPS Ashtech SCA-12 и Ashtech SCA-12S соответственно. Вторичная обработка данных выполнялась с помощью программы PRISM. Методика предполагала часовое измерение (3600 отсчетов) координат выносной станции.

В табл. 1 и 2 приведены результаты эксперимента, включающие в себя средние значения широты, долготы, высоты точки расположения выносной станции, а также СКО каждой из величин.

Таблица 1

Результаты измерений без фазового уточнения

	Среднее значение	СКО, м
Широта, град	56,45183898	0,798
Долгота, град	084,96200213	1,427
Высота, м	124,6541	1,878

Таблица 2

Результаты измерений с фазовым уточнением

	Среднее значение	СКО
Широта, град	56,45183768	0,126
Долгота, град	084,96200235	0,169
Высота, м	125,0424	0,123

В результате эксперимента была оценена точность локальной дифференциальной спутниковой навигационной системы с фазовым уточнением измерений. СКО отклонения по широте, долготе и высоте на порядок меньше, чем при измерениях без фазового уточнения. Дальнейшее уменьшение ошибок возможно, по-видимому, при увеличении количества спутников (в опытах было 5–7) и исключении переотражений от металлической крыши надстройки.

Литература

1. *Жалило А.А., Яковченко А.И.* Способ реализации относительных геодезических определений по сигналам GPS/ГЛОНАСС с использованием float-обработки фазовых наблюдений // Известия вузов. Радиоэлектроника. Т. 42. № 12. 1999. с. 55–61.

2. *Невзоров Р.А.* Критерий разрешения неоднозначности фазовых измерений GPS приемников при оценивании относительных координат неподвижных объектов // Радиотехника. № 6. 2003. С. 3–9.

ЭФФЕКТИВНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ РАССЕЯНИЯ САМОЛЕТОВ ПРИ ДВУХПОЗИЦИОННОЙ БАРЬЕРНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

В.А. Громов, студент 4-го курса
ТУСУР, г. Томск, grom_v_a@ms.tusur.ru

Известно [1], что ЭПР непрозрачных для радиоволн целей зависят как от ракурса цели, так и от двухпозиционных углов в горизонтальной и вертикальной плоскостях (соответственно α и β), причем при двухпозиционной барьерной радиолокации, когда углы α и β близки к 180º, ЭПР резко возрастает и доходит до величины

$$\sigma(180°) = 4\pi(S/\lambda)^2 , \qquad (1)$$

где S – площадь поперечного сечения цели, λ – длина волны. Величина этой ЭПР практически не зависит от поглощающих покрытий и специальной формы радиолокационных объектов, при изготовлении которых применяются технологии «Стелс».

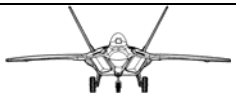
К сожалению, в имеющейся справочной литературе (см., например, [2]) данные о зависимости ЭПР реальных целей от двухпозиционных углов практически отсутствуют.

Нами было проведено численное моделирование дифракции радиоволн в приближении Гюйгенса-Френеля на нескольких боевых самолетах американского и российского производства с использованием пакета Mathcad. Цель аппроксимировалась препятствием, представляющим собой проекцию силуэта самолета на плоскость, перпендикулярную направлению облучения. При этом индикатрисы рассеяния (дифракционные диаграммы переизлучения) в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно равны [1]:

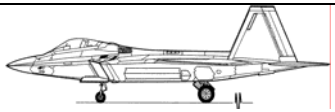
$$\sigma(\alpha,0) = \frac{4\cdot\pi}{\lambda^2}\cdot\left|\int_{x_1}^{x_2} \exp\left[j\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)x\sin(\alpha)\right]\left[y_1(x)-y_2(x)\right]dx\right|^2 ; \qquad (2)$$

$$\sigma(0,\beta) = \frac{4\cdot\pi}{\lambda^2}\cdot\left|\int_{y_1}^{y_2} \exp\left[j\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)y\sin(\beta)\right]\left[x_1(y)-x_2(y)\right]dy\right|^2 ,$$

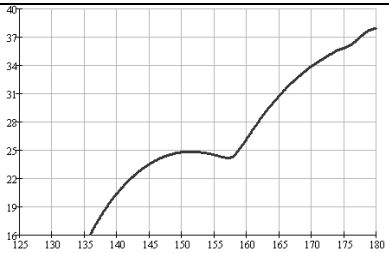
где $y_{1,2}$ и $x_{1,2}$ – соответственно левый и правый, а также верхний и нижний контуры проекции цели на поперечную плоскость. Результаты моделирования приведены на рис. 1–3.



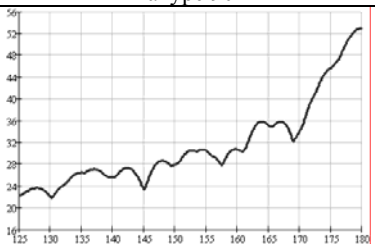
Ракурс 0º



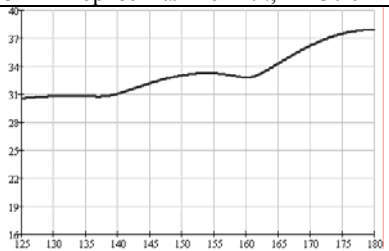
Ракурс 90º



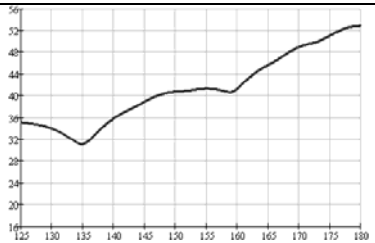
ЭПР в горизонтальной пл., λ = 30 см



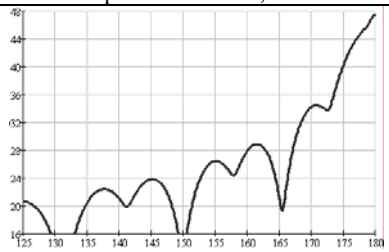
ЭПР в горизонтальной пл., λ = 30 см



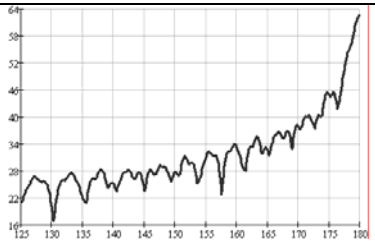
ЭПР в вертикальной пл., λ = 30 см



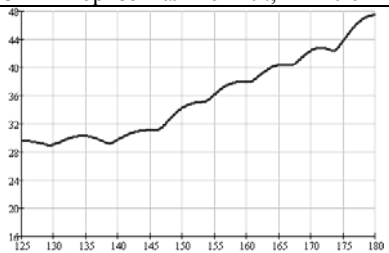
ЭПР в вертикальной пл., λ = 30 см



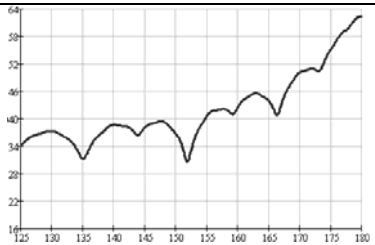
ЭПР в горизонтальной пл., λ = 10 см



ЭПР в горизонтальной пл., λ = 10 см



ЭПР в вертикальной пл., λ = 10 см



ЭПР в вертикальной пл., λ = 10 см

Рис. 1. ЭПР многоцелевого истребителя F-22 (США), дБ/м^2

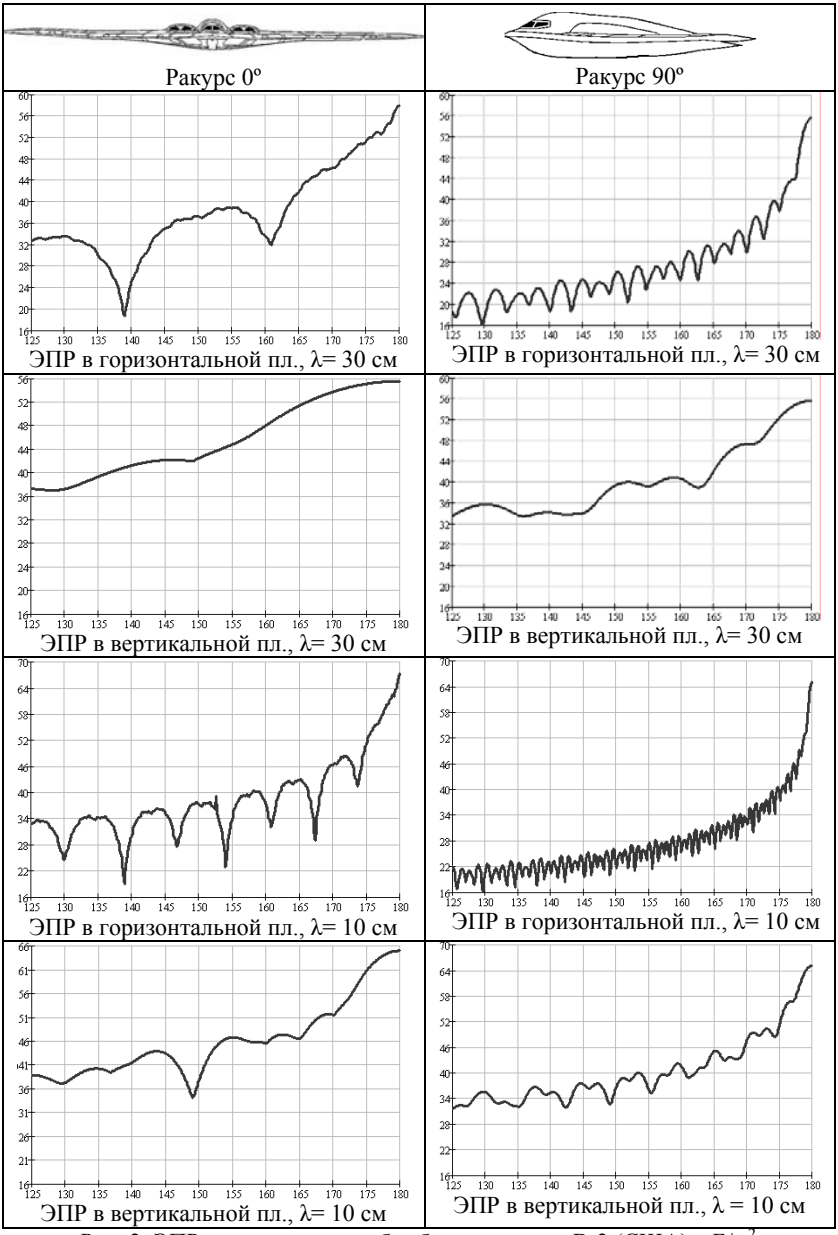


Рис. 2. ЭПР стратегического бомбардировщика B-2 (США), дБ/м^2

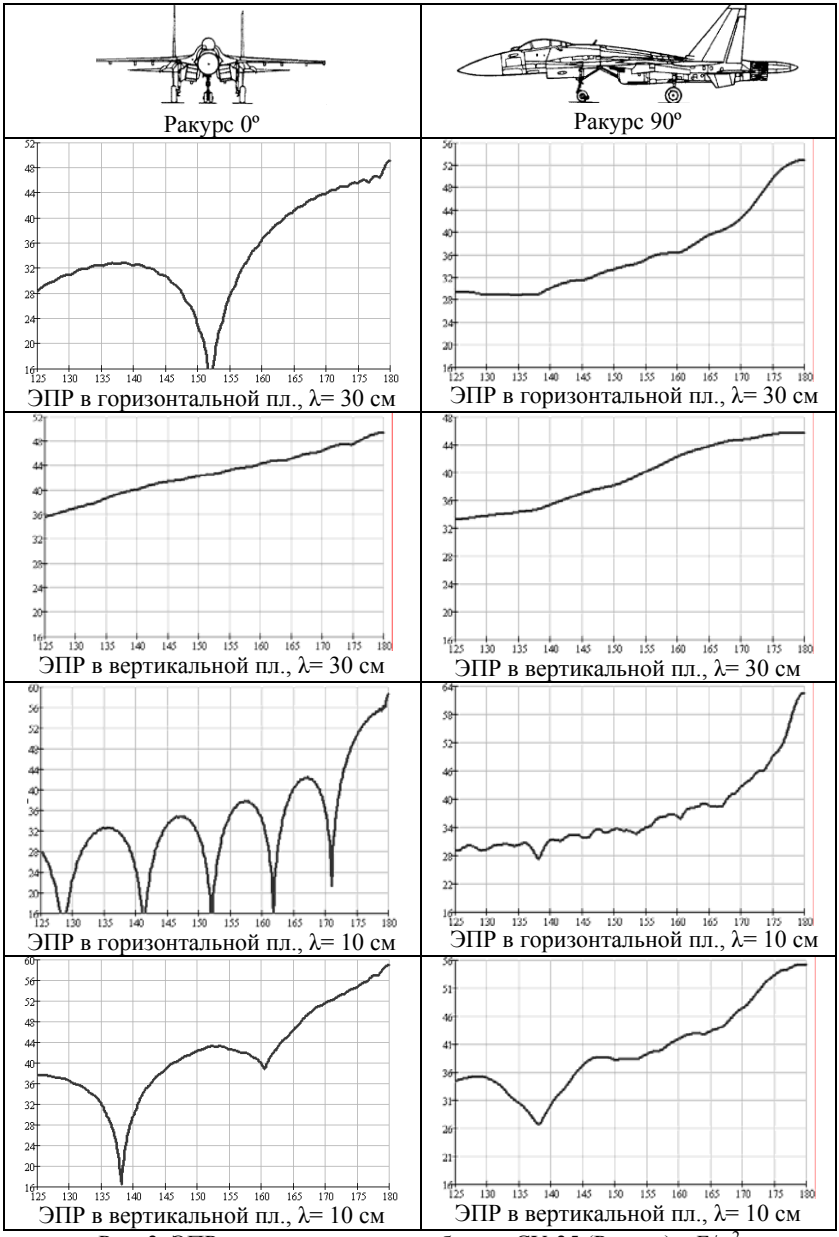


Рис. 3. ЭПР многоцелевого истребителя СУ-35 (Россия), дБ/м^2

Литература

1. *Черняк В.С.* Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993. 416 с.

2. *Справочник* по радиолокации: Пер. с англ.: В 4-х т. Т. 1. Основы радиолокации. М.: Сов. радио, 1976.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА

В.А. Шилов, студент 5-го курса

SVasia@mail2000.ru

Ставится задача разработки макета приемо-передающего тракта, изучения характеристик ультразвуковых датчиков и методики вычисления взаимнокорреляционной функции с применением микроконтроллеров Atmel.

Измерение скорости и направления ветра (например, на метеорологических станциях) – важная задача при мониторинге состояния атмосферы, чаще всего реализуемая механическими методами, имеющими недостаточную точность и большую инерционность.

Метод измерения скорости и направления ветра – корреляционный. Его достоинства и анализ других методов измерения приведены в [1]. В [1] указаны основные факторы, влияющие на точность измерения скорости и направления ветра.

В данной статье будут затронуты вопросы выбора типа ультразвуковых датчиков и построение основных блоков измерителя.

Выбор типа ультразвукового (УЗ) датчика. В качестве излучателей ультразвука можно использовать различные типы УЗ датчиков: электродинамические, магнитострикционные, электростатические и пьезоэлектрические. Более подробную информацию о данных типах датчиков можно прочитать в [2]. В разработке использованы пьезоэлектрические датчики на основе керамики ЦТС. Выбор сделан по следующим соображениям: во-первых, это малые габариты датчика и эксплуатационные преимущества (долговечная, высокоэффективная пьезокерамика способна работать в большом интервале температур от –60°С до +100°С, при различной относительной влажности воздуха и атмосферном давлении), и, во-вторых, данные датчики недорогие. Недостатком данных датчиков является то, что они имеют узкую полосу частот излучения на резонансной частоте (среднее значение полосы частот порядка 2 кГц) и высокое сопротивление излучения (от 500 Ом до нескольких килоом).

Для выбранного типа датчиков были сняты основные параметры: резонансная частота излучения ($f_{изл}$), сопротивление излучения (R_S),

коэффициент электромеханической связи (k) и добротность (Q). Схема измерения основных параметров пьезодатчиков приведена на рис. 1.

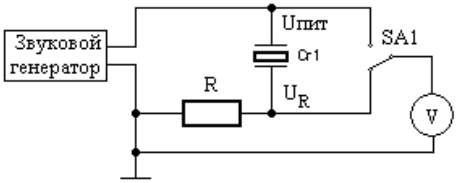


Рис. 1. Схема измерения основных параметров пьезодатчиков

Питающее напряжение ($U_{пит}$ = 46,5 В) при изменении частоты звукового генератора поддерживалось неизменным. Ток, протекающий через пьезодатчик Cr1, контролировался замерами напряжения на резисторе R, величина которого должна быть намного меньше сопротивления излучения (в схеме измерения R = 5 Ом).

Для примера, на рис. 2 приведена зависимость $U_R = \varphi(f)$ для одного из имеющихся типов пьезодатчиков.

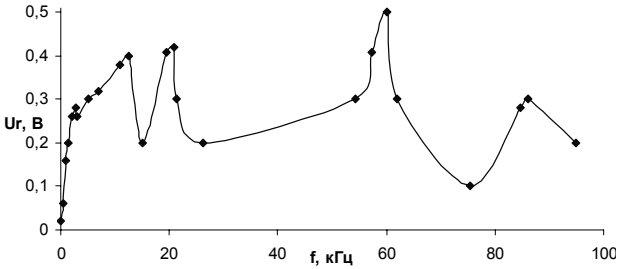


Рис. 2. График зависимости $U_R = \varphi(f)$

На $f_{изл}$=60 кГц, $R_S = R\dfrac{U_{пит}}{U_R} = 5\cdot\dfrac{46,3}{0,5} = 463$ (Ом);

$$k = \sqrt{\frac{(f_A - f_P)\pi^2}{4 + (f_A - f_P)}} = 2,92\,;\ Q = \frac{60\cdot 10^3}{4\cdot 10^3} = 15\,.$$

Высокое сопротивление пьезодатчика и узкая полоса частот излучения определили в дальнейшем схему построения системы. В качестве излучаемого сигнала первоначально предполагалось излучать шумовой сигнал с шириной полосы частоты в десятки килогерц (в работе [1] показано, что ширина спектра частот излучаемого сигнала должна быть не менее 2 кГц для определения скорости и направления ветра с погрешностью в 1 м/с).

В разработанном макете приемо-передающего тракта применяется импульсный сигнал с внутриимпульсным заполнением частотой 40 кГц, причем импульсы формируются в виде М-последовательностей, длиной 15.

М-последовательности имеют хорошие статистические свойства, а именно, они имеют ярко выраженный максимум автокорреляционной функции и малые боковые лепестки [3]. А также, данные последовательности легко генерировать с помощью регистров сдвига.

Распространение ультразвука в воздухе сопровождается его большим затуханием. Теоретические предпосылки затухания ультразвука в воздухе приведены в [1]. Поэтому особые требования предъявляются к передающей и приемной частям системы. В передающей части для повышения мощности излучения ультразвуковых колебаний и для согласования пьезодатчика с усилителем были поставлены: двухтактный усилитель мощности с предварительным формированием сигнала и выходной повышающий трансформатор. В результате амплитуда выходного сигнала передатчика составляет порядка 60 В для распространения ультразвука на расстоянии между передатчиком и приемником в 15 см.

Приемный усилитель. В качестве приемного датчика необходим датчик, имеющий близкую резонансную частоту к частоте резонанса излучаемого датчика. Приемный усилитель – двухкаскадный и выполнен на операционных усилителях. Особо следует отметить факт проникновения сигнала напрямую от передатчика в приемник. Во избежание данного эффекта схема приемника дополнена фильтрами по питанию и крепление УЗ датчика, осуществлено через специальную резиновую пластину, которая устраняет передачу сигнала по стойкам крепления датчиков.

В результате проектирования были составлены: структурная и функциональная схемы работы измерителя, а также принципиальная схема приемо-передающего тракта и его реализация в макетном виде. В САПР P-CAD 2001 была разведена плата приемо-передающего тракта, разработаны требования к установке пьезодатчиков. А также разработан алгоритм программы вычисления взаимнокорреляционной функции на микроконтроллере ATmega8, составлена модель коррелятора в OrCAD 9.2.

Проведенная работа позволяет использовать данный проект для дальнейшего внедрения его в производство. Данная статья будет же полезна тем, кто будет разрабатывать ультразвуковые устройства различного назначения.

Литература

1. *Шилов В.А.* Система измерения скорости и направления ветра с использованием ультразвуковых датчиков // Труды второй научно-методической конференции. Т. 1. ТУСУР. 2007, С. 123.

2. *Горбатов А.А., Рудашевский Г.Е.* Акустические методы и средства измерения расстояний в воздушной среде. М. Энергия, 1973. 144 с.

3. *Кук Ч., Бернфельд М.* Радиолокационные сигналы / Пер. с англ. В.С. Кельзона, М: Сов. радио, 1971. 568 с.

СЕКЦИЯ 2

ЗАЩИЩЕННЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

*Председатель – **А.М. Голиков,** к.т.н., доцент каф. РТС*

ОБНАРУЖЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ЧЕРВЕЙ. СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ

Н.Г. Булахов, аспирант каф. КЭиФ,
науч. рук. В.Т. Калайда, д.т.н.
ТГУ, г. Томск, nboolahov@yandex.ru

Сегодня, как никогда, требуется передача больших объемов данных на значительные расстояния. Поэтому необходимо обеспечить высокую скорость, минимизировать задержки, потери пакетов, соблюдать очередность их передачи, эффективный обмен информацией между различными участниками взаимодействия. В свою очередь, для этого требуется оперировать адекватной моделью цифровой информационной сети. Проблема математического описания функционирования сетей, ориентированного на выработку принципов регулирования режимами в сети – одна из первоочередных. Существующие методы описания, как правило, не дают общих подходов, позволяющих строить систему анализа поведения сетей и управления ими. Подтверждение отсутствия общего подхода – многочисленные случаи неконтролируемого распространения вирусных пакетов. Поэтому необходимы новые подходы, позволяющие разрешить эти проблемы.

Автором ранее было предложено рассматривать всю сеть как некое устройство, содержащее в себе коммутаторы, маршрутизаторы и оконечные станции. Тогда достаточно простой моделью, которая учитывает особенности функционирования всей реальной сети (в том числе при пиковых нагрузках), способно служить сетевое устройство с обратной связью. Оно объединяет в себе функции маршрутизирующего оборудования и оконечных станций, являясь в этом смысле универсальным.

Указанное устройство имеет N входов и N выходов. Пара вход-выход образует подключение. Каждому подключению ставятся в соот-

ветствие два веса WO_i и WV_i, позволяющие дифференцировать загруженность выбранного канала, что отражает реальное разделение на магистральные и оконечные подключения сети. Внутри предлагаемого устройства каждому выходу соответствует очередь пакетов длиной M. Вес WO соответствует нагрузке канала за счет обычных информационных пакетов, вес WV – за счет саморазмножающихся пакетов, представляющих в данной модели компьютерных «червей». Чтобы учесть динамику распространения саморазмножающихся пакетов, вводится обратная связь. Она осуществляется за счет изменения веса WV при изменении числа саморазмножающихся пакетов на выходе устройства. Найдены условия того, что в заданный такт времени на входе с номером n присутствует пакет, а если присутствует, то является либо саморазмножающимся, либо нет. В зависимости от весов WO_i и WV_i, соответствующих порту назначения с номером k, каждый пакет помещается в некоторую выходную очередь – согласно заданному критерию. Если же очередь переполнена, то пакет отбрасывается. Далее подсчитывается число пакетов каждого типа (NO_t и NV_t) на каждом выходе. Действие обратной связи (о которой говорилось выше) проявляется в коррекции весов WO_i и WV_i, согласно разработанному соотношению [1]. Очевидно, что предлагаемое устройство и его модель работают дискретно. Тогда логично использовать модель расширенного автомата, известную в теории автоматов.

Для проверки корректности предложенной модели выполнено компьютерное моделирование, результаты которого показывают, что модель отражает характер поведения разнородного трафика в проблемных сетях, согласуясь с экспериментальными данными [2], полученными в ходе анализа распространения сетевых червей.

Модель [1] позволяет оценить влияние распространения саморазмножающихся пакетов на качество передачи информации по сети. Однако практический интерес представляет обнаружение факта вторжения зловредного программного кода на сетевые компьютеры и предотвращение его дальнейшего распространения. Большинство предлагаемых на сегодняшний день способов обнаружения сетевых атак основаны на анализе передаваемого по сети трафика, а также установки «приманки» – специально выделенного компьютера с программным обеспечением, эмулирующим уязвимости операционных систем и отслеживающих обращения к ним с целью проникновения.

Характеристиками передаваемого по сети трафика, пригодными для выявления потенциально опасной активности являются: интенсивность пересылки отдельных пактов, интенсивность пересылки небольших очередей пакетов и интенсивность попыток установить соединение отдельными хостами, распределение IP- и MAC-адресов источника и назначе-

ния в передаваемых пакетах, размеры передаваемых пакетов, типы пакетов (принадлежность к определенным протоколам). Однако для достаточно надежного детектирования вредоносной активности и сведения риска ложного срабатывания к минимуму в данном случае часто требуется некоторая «калибровка», составление сигнатур распространения известных червей, что сужает область применения данных алгоритмов обнаружения сетевых атак и делает уязвимыми сети для новых (не внесенных в базу) червей. Автор предлагает исключить параметры, варьирующиеся для конкретных реализаций червя, и добавить характеристики пересылки информационных пакетов внутри маршрутизаторов и коммутаторов: количество отбрасываемых пакетов в единицу времени, заполненность буферов пересылки, нагрузка оборудования.

Дело в том, что основная причина отказа маршрутизационного оборудования – это переполнение буферов сетевых интерфейсов пакетами с отсутствующей возможностью дальнейшей моментальной пересылки. Эти пакеты хранятся в буфере интерфейса в надежде появления таковой возможности до истечения достаточно длительного временного интервала ожидания. Однако часто такие пакеты генерируются в больших количествах зловредным программным обеспечением заведомо без возможности нормальной пересылки маршрутизатором, что вызывает переполнение буфера и отбрасыванием остальных поступающих пакетов.

Таким образом, можно увеличить количество параметров, идентифицирующих сетевую атаку и в случае идентификации пакетов с отсутствующей возможность дальнейшей пересылки игнорировать их, освобождая мощности оборудования для пересылки нормального трафика. После идентификации источника распространения вредоносного трафика возможна его локализация и изоляция. Практическая проверка возможности использования статистической модели цифровой информационной сети для обнаружения компьютерных червей планируется в ближайшем будущем.

Литература

1. *Булахов Н.Г., Пойзнер Б.Н., Турицин А.Л., Хасанов В.Я.* Статистическая модель цифровой информационной сети, учитывающая возможность пиковых нагрузок // Статистические методы в естественных, гуманитарных и технических науках: Материалы международной научной конф. (апрель 2006 г., г. Таганрог). Ч. 3. Таганрог: Антон, ТРТУ, 2006. С. 7–11.

2. *Kim J., Radhakrishnan S., Dhall S.K.* Measurement and Analysis of Worm Propagation on Internet Network Topology // Доступно в сети Internet: http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9617/30391/01401716.pdf

СЕКЦИЯ 3

АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, БЫТОВАЯ РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА И СЕРВИС

*Председатель – **И.Н. Пустынский,** зав. каф. ТУ, д.т.н., профессор;*
*зам. председателя – **А.Г. Костевич,** к.т.н., доцент каф. ТУ*

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

С.Н. Белоносова, студентка; А.М. Заболоцкий, инженер
ТУСУР, г. Томск, B.Swetlana88@mail.ru

Для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) космических аппаратов (КА) весьма полезно знакомство с опытом независимых экспертов в этой области. К сожалению, информация по этому вопросу очень редко публикуется и мало доступна.

Цель данной работы: познакомить всех заинтересованных с ролью независимого надзора по ЭМС КА по материалам работы [1]. Ее анализ позволяет кратко сформулировать уроки, извлеченные из опыта независимого надзора по ЭМС КА, следующим образом:

1. Требования к внешнему взаимодействию должны быть технически обоснованы. Для внешних взаимодействий многие программы используют требования к уровням для типового блока. Для систем излучаемые эмиссии являются намного большими. Внешние радиочастотные поля много выше, чем уровни восприимчивости, принятые по умолчанию. Наземные передатчики могут вызвать значительные помехи, если соответствующим образом не учтены требования CS104.

2. Требования к внутреннему взаимодействию должны быть технически обоснованы. Для внутренних взаимодействий многие программы используют требования к уровням для типового блока. Во многих случаях надо, чтобы эти уровни позволяли более высокие излучения и более высокие уровни восприимчивости. Приемники и передатчики всегда требуют учета примечаний для излучений (эмиссий) и восприимчивости.

3. Требования должны распределяться по блокам. Наиболее распространенной ошибкой является использование требований тепловой пластины и неразбиение требований по блокам. Часто коэффициент эк-

ранирования клетки Фарадея не учитывает излучение от кабелей и соединителей, а также перекрестную наводку на нагреватели и термодатчики подсистемы теплового контроля и утечки через щели. Зазоры в шарнирах не являются запредельными волноводами.

4. Компоненты должны соответствовать требованиям. Часто используются последующие версии блоков, испытанные на менее строгие требования. В этих случаях в базовой разработке будут необходимы и должны быть модификации. Новые разработки блоков часто контролируются не полностью или вовсе не контролируются.

5. Заряд космического корабля должен быть уменьшен и блоки должны быть устойчивы к прямому ЭСР (электростатическому разряду). Во многих программах сделано допущение, что в конструкциях не будет разряда, который позже происходил. Многие программы, поскольку в них полагалось, что их конструкции не будут разряжаться, не имели никакой защиты на уровне блока.

6. Перед использованием все методы анализа должны быть проверены с помощью испытания. Перед выполнением анализа литература по анализу часто не просматривается. (За пределами корректности используемого моделирования необходимо обратиться к более корректным методам.) Методы, как правило, не проверяются при помощи испытания. Часто анализируемые конфигурации значительно отличаются от самой конструкции и ее построения. Вычисления часто являются не корректными. (Очень просто даже корректные методы некорректно реализовать в компьютере.)

7. Запасы должны включать в себя погрешности компонента, производства, испытания и взаимодействия. Большинство программ имеют неадекватные запасы. Корректный интерфейс должен иметь запасы. Цифровые компоненты могут иметь неопределенность в запасе помехоустойчивости более чем 12 дБ. Производство может легко вносить отклонение более чем 12 дБ в перекрестной наводке и экранировании. Испытания могут легко иметь погрешность от 15 дБ и более. Интерфейсы могут легко иметь отклонение 3 дБ и выше.

8. Все требования, спецификации, графические материалы, инструкции по сборке, освидетельствования и процедуры должны быть строго и независимо проверены. Многие программы не проходят требований по контролю одного или многих из этих документов. У многих программ отсутствуют особые критерии и инструктаж для этих проверок.

9. Все особенности ЭМС должны быть проверены с помощью испытания. Многие программы полагали, что они имели лучшие экранирование, фильтрацию и заземление, чем они имели фактически. Реальные конструкции часто выполняют неидеально, из-за небольших различий в проектировании и качестве изготовления.

10. Все качество изготовления должно быть проверено с помощью испытания. Многие программы удивляли тем, что в них обнаруживались «плавающие» земли, а также земли и электрические соединения с высоким импедансом. Также существовали подобные проблемы с ухудшением электрической изоляции, являющейся причиной чрезмерных помех. Проблемы электрического заземления очень трудно отделить, так как они часто ошибочны по отношению к проблемам экранирования и фильтрации.

11. Все блоки, подсистемы и системы должны быть проверены с помощью испытания. Время от времени программы полагают, что является адекватным не делать одно или большее число испытаний. Это обычно приводит к неисправностям, обнаруживаемым в следующей фазе испытания, что могло бы быть зафиксировано раньше.

12. Все испытание должно быть протестировано на соответствие полету. Отличие от полета в последующем привело к большому количеству вопросов, которых можно было избежать при испытаниях на уровне блока, в таких областях, как программное обеспечение; функционирование; мониторинг; экранирование; конфигурация; помехи интерфейса.

13. Когда недостаточно запаса для покрытия погрешности, должны выполняться приемочные испытания. Существуют случаи, когда приемочные испытания необходимы: запас меньше, чем погрешность; строгие требования; конструкция, чувствительная к качеству изготовления. Отказ от выполнения этого приемочного испытания стоил нескольким программам дополнительных задержек и затрат.

14. Хорошая практика ЭМС проектирования и испытаний должна использоваться в последующем. Программы, которые обходят затруднения, обычно отбрасывают многое и приводят к серьезной проблеме. Обычно эти особенности не были включены, потому что непроверенный анализ говорил, что был запас. Для предотвращения ошибок при следовании одному или более правилам очень полезны списки проверок.

15. Инженеры должны быть высококвалифицированными и опытными. Большинство проблем, которые произошли, можно было бы обойти, используя высококвалифицированных и опытных инженеров. Многие инженеры имеют опыт, ограниченный небольшим числом программ. Большинство проблем происходит, когда инженер работает в программе с более строгими и сложными требованиями, чем те, с которыми они знакомы.

Литература

1. *Simpson M.* Speaking the Unspeakable, A Look at the Role of Independent Oversight // Workshop «Aerospace EMC at the Centennial of Flight» in Proc. of 2004 IEEE Int. Symp. on Electromagnetic Compatibility. P. 1–27.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОДУЛЯ РАЗНОСТИ ПОГОННЫХ ЗАДЕРЖЕК В ТРЕХПРОВОДНЫХ СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ

И.Г. Бевзенко, студент 5-го курса; А.М. Заболоцкий, инженер
ТУСУР, г. Томск, ivan-bevzenko@yandex.ru

Важную роль в обеспечении нормального функционирования бытовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭА) играет помехозащищенность. Часто помехи передаются по проводникам, что приводит к нарушению нормального функционирования БРЭА. Особенно опасны сверхкороткие импульсы, способные вывести аппаратуру из строя. Это вынуждает создавать специальные устройства защиты, основанные на новых технических принципах [1]. Для создания этих устройств (называемых модальными фильтрами) на основе трехпроводных кабелей важно исследовать погонные задержки мод и их разность. Кроме того, важен синтез антипода (по разности задержек мод) заданному отрезку линии передачи, поскольку это может оказаться актуальным для оценки потенциальных угроз намеренного силового воздействия (НСВ) на важную аппаратуру, а также для разработки нового класса специальной аппаратуры для создания НСВ в целях антитеррора [2]. Один из вариантов реализации антипода заданному кабелю – помещение в среду с относительной диэлектрической проницаемостью (ε_{rA}) большей, чем у изоляции кабеля (ε_{r1}) [3]. Однако существуют и другие, более практичные варианты модального антипода. К примеру, его можно получить простым наматыванием изолирующей ленты на кабель [4]. В работе [4] обнаружено необычное поведение зависимости модуля разности погонных задержек мод $|\Delta\tau|$ для кабеля АППВ-3×6, которое необходимо исследовать более детально.

Цель этой работы – исследовать зависимость модуля разности погонных задержек в трехпроводных силовых кабелях.

В системе компьютерного моделирования электромагнитной совместимости TALGAT построено поперечное сечение кабелей АППВ-3×6 и АПУНП с дополнительным диэлектрическим слоем (для создания антипода) с относительной диэлектрической проницаемостью ε_{rA} и общей толщиной 2Н (рис. 1) .

Можно полагать, что $|\Delta\tau|$ зависит от структуры и параметров диэлектрика. Для проверки этого предположения выполнено вычисление $|\Delta\tau|$ кабелей АППВ-3×6 для ε_{rA}= 1,1 … 25,1 (таблица) и АПУНП для ε_{rA}= 1,1 … 30,1 (рис. 2).

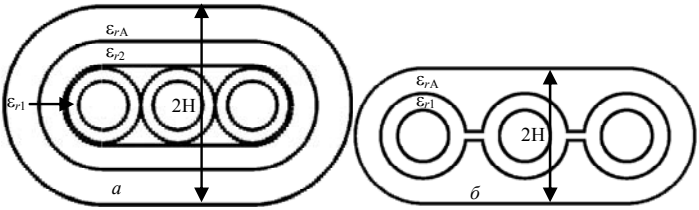


Рис. 1. Поперечное сечение антиподов кабелей марки АПУНП (*а*), АППВ-3×6 (*б*)

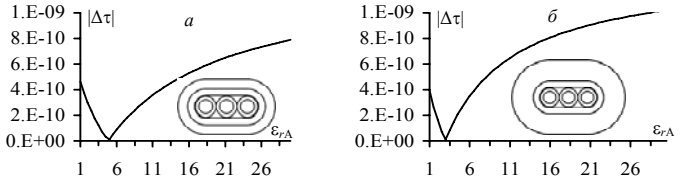
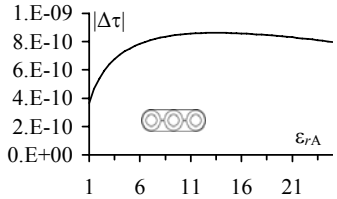
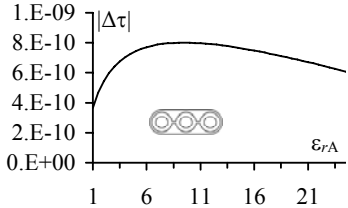
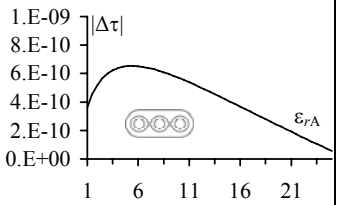
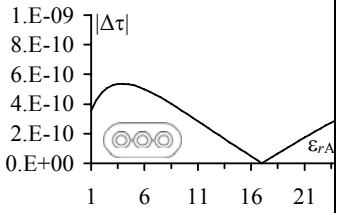
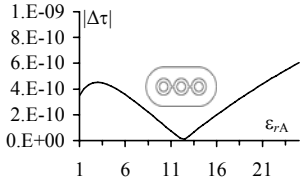
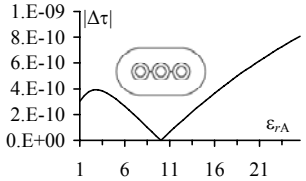


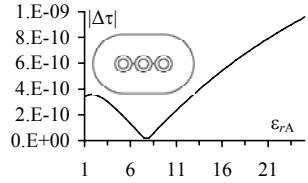
Рис. 2. Зависимость модуля разности погонных задержек мод (|Δτ|, с) от ε_{rA} для кабеля АПУНП с толщиной H = 4 мм (*а*), H = 6 мм (*б*)

Зависимость модуля разности погонных задержек мод (|Δτ|, с) от ε_{rA} для разной толщины кабеля АППВ-3×6

H, мм	Зависимость модуля разности погонных задержек мод (|Δτ|, с) от ε_{rA}
2,7	
3	

H, мм	Зависимость модуля разности погонных задержек мод (|Δτ|, с) от ε_{rA}
4	
5	

H, мм	Зависимость модуля разности погонных задержек мод (|Δτ|, с) от ε_{rA}
6	
7	

H, мм	Зависимость модуля разности погонных задержек мод (|Δτ|, с) от ε_{rA}
8	

Из таблицы видно, что на определенном участке |Δτ| увеличивается, но потом уменьшается, т.е. существует наличие максимума. Чем больше толщина слоя диэлектрика, тем максимум менее выражен. А на рис. 2 наличие максимума не наблюдается, следовательно, |Δτ| зависит от структуры диэлектрика. Значит, при синтезе определенной структуры можно получить более высокое значение |Δτ| при меньших толщинах слоя диэлектрика.

Литература

1. *Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М.* Модальное разложение импульса в отрезках связанных линий как новый принцип защиты от коротких импульсов. Технологии ЭМС, 2006. № 4. С. 40–44.

2. *Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т., Куксенко С.П., Горин Е.П., Бевзенко И.Г.* Возможности применения новых модальных явлений в целях электромагнитного терроризма и для защиты от него // Труды VII Межд. Симп. по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии, г. Санкт-Петербург, 26–29 июня 2007 г. С. 266–269.

3. *Бевзенко И.Г., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р.* Вариант антипода для кабеля марки АППВ-3×6 // Электронные и электромеханические системы и устройства: Научно-техническая конференция молодых специалистов, 10–11 апреля 2008 г. Томск: Научно-производственный центр «Полюс». 2008.

4. *Бевзенко И.Г., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р.* Влияние параметров дополнительного диэлектрического слоя на погонные задержки кабеля марки АППВ-3×6 // Современные техника и технологии СТТ 2008: XIV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых 24–28 марта 2008 г. Томск: Томский политехнический университет. 2008.

ОБЗОР ПРОГРАММ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Р.Е. Чириков, студент 5-го курса; И.С. Костарев, аспирант
ТУСУР, г. Томск, wtahuku@sibmail.com

Ужесточающиеся требования к характеристикам аппаратуры и необходимость внедрения в производство сложнейшей техники в короткие сроки приводит к созданию систем автоматизированного проектирования. Важную роль в этих системах играет электродинамический анализ, проведение которого стало возможным благодаря появлению компьютерных средств моделирования.

На сегодняшний день существует ряд программ, позволяющих провести электродинамический анализ. Каждая из программ отличается как способом проведения анализа, так и диапазоном решаемых задач. Поэтому, перед производителями аппаратуры постоянно стоит вопрос выбора необходимого программного обеспечения (ПО), позволяющего решить весь спектр поставленных перед ним задач.

Цель данной работы – проведение анализа существующего на рынке ПО и изучение его возможностей.

CONCEPT II предлагает пользователю набор инструментов для численного представления электромагнитного излучения [1]. Программа разработана для вычисления токов, напряжений и полей, действующих на металлические или диэлектрические структуры. Так же CONCEPT II позволяет рассчитывать электромагнитное поле в ближней и дальней зонах. Применение этого ПО ограничивается лишь для частично гомогенных или изотропных материалов.

Пакет **EMC Studio** предназначен для проведения анализа ЭМС сложных систем и имеет удобный интерфейс создания и редактирования модели. Программа использует различные алгоритмы для анализа сложных поверхностей, анализа кондуктивных помех и электромагнитных импульсов. Кроме того, пакет содержит возможность подключения специальных модулей для упрощенного анализа на высоких и низких частотах с использованием метода моментов [2].

ELNEC. Позволяет моделировать антенны проволочного типа. Программа рассчитывает диаграммы направленности с учетом поляризационных свойств антенн. Существует возможность задания характеристик проводящих поверхностей антенны. При моделировании можно учитывать реактивные сопротивления, включенные в схему [3].

2Comu. Одной из главных особенностей данного пакета является улучшенная технология параллельного вычисления, которая позволяет в несколько раз сократить время поиска и вычисления нужного элемента.

Существует возможность подключения дополнительных модулей, которые позволяют решать различные задачи ЭМС, такие как моделирование сложных поверхностей, решение уравнений электродинамики [4].

SOLIDWORKS. Является мощной и удобной в применении программой, которая, вдобавок к детальному механическому анализу, при использовании специальных модулей CosmosWorks, охватывает широкий спектр задач ЭМС [5]. Пакет позволяет создать модель любой сложности, описать ее характеристики и провести анализ. При подключении модуля COSMOSEMS становится возможным выполнять расчет не только для случая постоянного тока, но и анализировать магнитные поля, возникающие при питании устройства переменным током низкой частоты. С этой целью модуль включает четыре компонента: электростатический, магнитостатический, расчета магнитного поля для переменного тока, а также расчета переменного магнитного поля. Электростатический компонент используется в случае, если в материале не протекает ток, выполняя расчет только электрического поля. Для кабелей, резисторов и шунтов этот модуль позволяет выполнить расчет электрического сопротивления. Магнитостатический компонент может применяться при расчете электродвигателей, генераторов, постоянных магнитов и др., анализируя линейное или нелинейное магнитное поле устройства. Отдельный компонент служит для расчета магнитного поля переменного тока, с учетом вихревых токов и поверхностных эффектов. Наконец компонент, рассчитывающий переменные во времени магнитные поля, также позволяет выполнять линейный или нелинейный анализ с учетом магнитных сил, потерь мощности и вихревых токов.

Таким образом, рассмотренное ПО предлагает решения практически всего круга электродинамических задач. Однако каждая из представленных программ не является универсальной и охватывает небольшой круг проблем, поэтому перед производителем сложной аппаратуры так и остается основной выбор – выбор ПО для решения определенного спектра поставленных задач.

Литература

1. http://www.tet.tu-harburg.de/en_EN/en_index.php
2. http://www.emcos.com/html/emc_studio.html
3. http://window.edu.ru/window_catalog/files/r28543/ustu150.pdf
4. http://www.2comu.com/products/GEMS_Simulator_New.html
5. http://www.solidworks.com/pages/products/swofficepro/documents/ SolidWorks2008datasheet.pdf

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ НА ЧЕТЫРЕ ДЛЯ ПЛАНАРНОЙ АНТЕННЫ

Е.В. Дмитриченко, студент 5-го курса
ТУСУР, г. Томск, evgen555@bk.ru

Микрополосковая (печатная, в зарубежной литературе patch) антенна представляет собой металлический проводник той или иной формы, расположенный над заземленной подложкой.

Антенну можно разбить на две составляющие части: излучающие поверхности (излучатели) и делитель, основной задачей которого является передача СВЧ мощности с минимальными потерями к излучателям, которые в свою очередь должны ее передать с наибольшей эффективностью [1].

Эффективность излучения и согласования антенны зависит от правильного выбора линий передачи. При конструировании планарных антенн чаще всего применяются открытые микрополосковые линии (рис. 1).

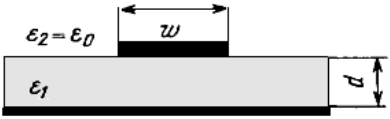


Рис. 1. Модель открытой микрополосковой линии

Цель данной работы показать результаты проектирования делителя мощности на четыре и пояснить принципы его построения.

Основными составляющими делителя являются печатные проводники разных длин и ширин. Сложность состоит в том, что они должны быть правильно подобраны и согласованы друг с другом, иначе появятся потери, связанные с отражением волны от несогласованной нагрузки [2]. В данном случае требуется согласовать 150 Ом, сопротивление излучателя, с 50 Ом, сопротивлением фидера.

Из теории микрополосковых линий следует, что входной импеданс в месте соединения двух согласованных линий с волновым сопротивлением 100 Ом будет равен 50 Ом, т.е. в данном случае первые две линии, отходящие в разные стороны от фидера, должны иметь волновое сопротивление по 100 Ом. Затем идет, так называемый, четвертьволновой трансформатор, который согласует 100 Ом линии и 75 Ом, которые будут вместе соединения двух линий по 150 Ом.

Подбор параметров линий велся путем оптимизации в программе электродинамического анализа, учитывая ограничения на длины и ширины, для размещения излучающих поверхностей (рис. 2).

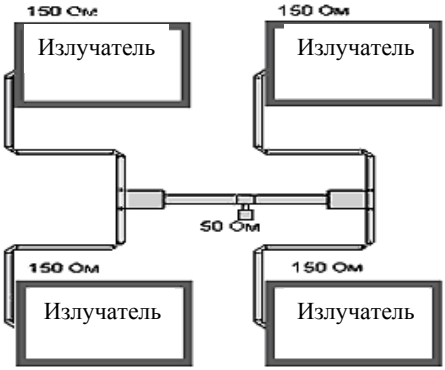


Рис. 2. Модель топологии делителя мощности на четыре

В результате были получены оптимальные параметры всех нужных линий и графики коэффициента отражения и потерь, соответствующие данным параметрам. По его виду можно сделать вывод о том, что данный делитель будет удовлетворять ТЗ, по которому требовалось спроектировать делитель, который бы работал в полосе частот 5,7–6,4 ГГц и имел коэффициент отражения в заданной полосе не более –15 дБ. Потери должны быть минимальны, так как это скажется на коэффициенте усиления всей антенны (рис. 3).

Данная форма и принцип построения очень часто применяются для построения планарных антенн, так как являются простыми при проектировании и их изготовлении. Данный пример может быть изготовлен обычным печатным методом.

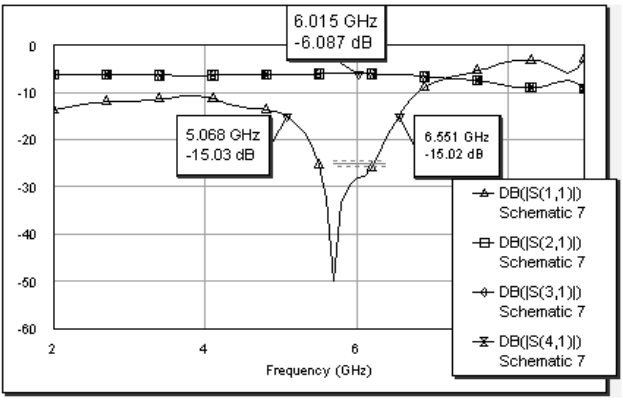


Рис. 3. Результаты проектирования делителя
в программе электродинамического анализа

Литература

1. *Панченко Б.А., Нефедов Е.И.* Микрополосковые антенны. М.: Радио и связь, 1986. 73 с.

2. *Веселов Г.И., Егоров Е.Н.* Микроэлектронные устройства. М.: Высшая школа, 1988. 138 с.

АЛГОРИТМ СЖАТИЯ JPEG

К.С. Дмитриенко, студент 5-го курса

ТУСУР, г. Томск, kostan@sibmail.com

Алгоритмы сжатия изображений – бурно развивающаяся область машинной графики. Основной объект приложения усилий в ней – изображения – тип данных, характеризуемый тремя особенностями.

1. Изображение требует для хранения гораздо большего объема памяти, чем текст. Так, скромная не очень качественная иллюстрация на обложке книги размером 500×800 точек занимает 1,2 Мб – столько же, сколько художественная книга из 400 страниц. Эта особенность изображений определяет актуальность алгоритмов архивации графики.

2. Второй особенностью изображений является то, что человеческое зрение при анализе изображения оперирует контурами, общим переходом цветов и сравнительно нечувствительно к малым изменениям в изображении. Таким образом, можно создать эффективные алгоритмы архивации изображений, в которых декомпрессированное изображение не будет совпадать с оригиналом, однако человек этого не заметит. Эти алгоритмы позволяют сжимать изображения с высокой степенью сжатия и незначительными с точки зрения человека потерями.

3. Изображение в отличие, например, от текста обладает избыточностью в двух измерениях. То есть, как правило, соседние точки, как по горизонтали, так и по вертикали, в изображении близки по цвету. Таким образом, при создании алгоритма компрессии графики используют особенности структуры изображения.

JPEG (Joint Photographic Expert Group) – хороший пример того, как несколько схем сжатия данных могут быть объединены для большей эффективности, которые позволяют достичь очень высоких коэффициентов сжатия.

Алгоритм (рис. 1) разработан группой экспертов в области фотографии специально для сжатия 24-битовых изображений.

В данной работе изучался алгоритм сжатия JPEG на примере сжатия изображения, в котором каждый пиксель это единственный байт, полутоновое значение между 0 и 255.

Рис. 1. Конвейер операций, используемый в алгоритме JPEG

В качестве входного блока данных использовалось тестовое изображение Lena.bmp (рис. 2, *а*). Используя алгоритм JPEG, удалось получить коэффициент сжатия, равный 5,9, при котором потери данных минимальны и практически незаметны визуально (рис. 2, *б*).

Результаты получены с использованием пакета Mathcad.

а *б*

Рис. 2. Исходное и сжатое изображения:
а – входное изображение Lena.bmp; *б* – изображение, сжатое по алгоритму JPEG

Положительные стороны алгоритма:

1. Высокий коэффициент сжатия, особенно для изображений, качество которых расценивается как хорошее или отличное.

2. Большое число параметров, позволяющих искушенному пользователю экспериментировать с настройками метода и добиваться необходимого баланса сжатие/качество.

3. Хорошие результаты для любых типов непрерывно-тоновых изображений независимо от их разрешения, пространства цветов, размера пикселов или других свойств.

Отрицательные стороны алгоритма:

1. При повышении степени сжатия изображение распадается на отдельные квадраты (8×8). Это связано с тем, что происходят большие

потери в низких частотах при квантовании, и восстановить исходные данные становится невозможно.

2. Проявляется эффект Гиббса – ореолы по границам резких переходов цветов.

Литература

1. *Ватолин Д., Ратушняк., Смирнов М., Юкин В.* Методы сжатия данных. М.: Диалог–Мифи, 2003. 381 с.

2. *Сэломон Д.* Сжатие данных, изображения и звука. М.: Техносфера, 2004. 367 с.

3. Алгоритмы сжатия, использующие дискретное косинусное преобразование – JPEG, Motion JPEG, H-263.

4. http://www.shocker.ru/articles/18.html

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРПУСА С ЩЕЛЯМИ

И.М. Добуш, К.С. Дмитриенко, студенты 5-го курас;
С.П. Куксенко, инженер
ТУСУР, г. Томск, iga@sibmail.com

Существенный интерес представляет оценка электромагнитных помех/электромагнитной совместимости (ЭМП/ЭМС) электронных систем и устройств. Однако из-за сложности окружающих структур, кабельных жгутов и печатных плат (ПП), анализ ЭМП/ЭМС на системном уровне является очень сложным. Один общий подход – это разбиение проблемы на меньшие и более простые части для более удобного анализа. Полная проблема ЭМП/ЭМС разбита на три основных компоненты: окружающие структуры с апертурами на стенках, кабельные жгуты и ПП [1]. Данная работа основана на результатах зарубежных исследований, ее цель ознакомить с методом анализа одной из компонент проблемы, а именно с современным компьютерным моделированием металлического корпуса с щелями [2].

Электромагнитный анализ металлических корпусов – важная проблема при проектировании аппаратуры с учетом ЭМС. В данной работе исследуется прямоугольный корпус с двумя щелями, возбужденными несимметричными вибраторами, и сравниваются различные результаты, полученные путем компьютерного моделирования и измерений.

Для того чтобы понять систему определенной сложности, при ее исследовании, посредством измерения или моделирования, необходимо рассматривать ряд результатов различного типа, такие как входной импеданс, передаточный импеданс, ближнее и дальнее электрическое или

магнитное поля. В начале находится аппроксимация для распределения тока, которая удовлетворяет граничным условиям для электрического и магнитного полей в ряде согласующих точек. На основе этого распределения тока затем определяются другие интересующие результаты, такие как входной импеданс, значения напряженности электрического и магнитного полей, или напряжения на нагрузке.

Рассмотрим металлический корпус с щелями (рис. 1), имеющий заданные размеры и возбужденный несимметричным вибратором. Поверхность металлического корпуса разбита на ячейки. Начальная ячейка имеет изменяющийся размер, с большими ячейками в центрах стенок, которые становятся более мелкими к краям. Входной импеданс для этой модели в частотном диапазоне от 200 МГц до 1 ГГц представлен на рис. 2. Общее согласование между измеренными и моделируемыми результатами весьма хорошее, но в некоторых резонансных участках требуется более детальный анализ.

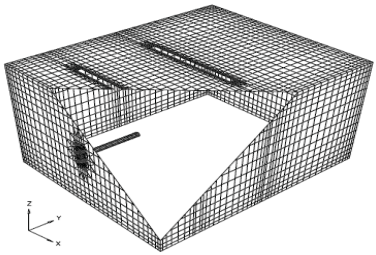


Рис. 1. Конфигурация металлического корпуса с щелями, возбужденного несимметричным вибратором

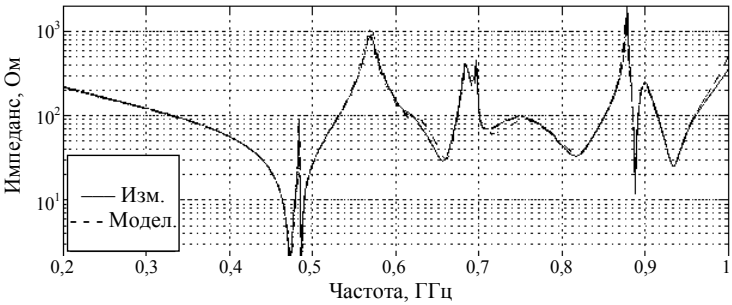


Рис. 2. Входной импеданс: измерение и моделирование

Из измеренного входного импеданса входная мощность, переданная идеальным источником напряжения, может быть вычислена:

$$P_{\text{input}} = \frac{1}{2} R I^2 = \frac{R}{2}\left(\frac{V_{\text{sourse}}}{Z}\right)^2, \qquad (1)$$

где R и Z – вещественная часть и модуль входного импеданса, соответственно, а V_{source} – напряжение источника (пиковое значение).

Такое возбуждение с идеальным источником напряжения соответствует имитационной модели, в которой источник 1 В возбуждает вибратор. Входная мощность согласно (1) должна быть равна полной мощности излучения (2), если полагать, что доминируют потери на излучение, а потери из-за конечной проводимости материала корпуса незначительны. На рис. 3 показан результат этого сравнения.

$$P_{\text{radiated}} = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\upsilon=0}^{\pi/2} \left(\vec{E} \times \vec{H} \right) d\upsilon \cdot d\varphi. \qquad (2)$$

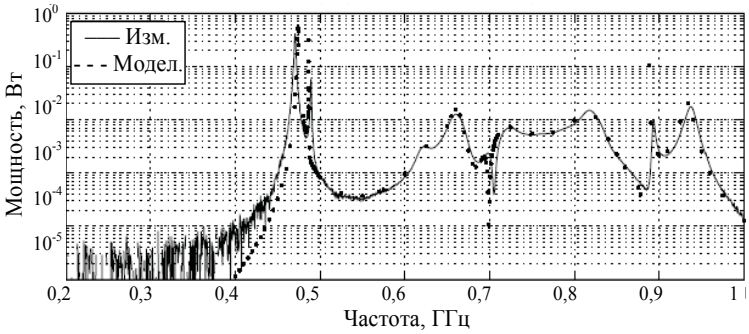


Рис. 3. Измеренная входная мощность и моделируемая излучаемая мощность

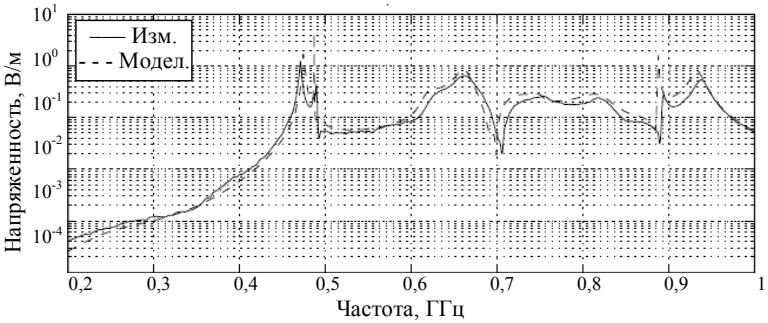


Рис. 4. Измеренная и моделируемая напряженности электрического поля в дальней зоне

Моделируемые результаты основаны на возбуждении идеальным источником 1 В. Измерения были проведены в безэховой камере, используя перестраиваемый генератор и анализатор спектра. Чтобы получить эквивалентные результаты для измерения, был учтен внутренний импеданс генератора, и из измеренного напряжения получена напряженность поля как:

$$|E_{\text{meas}}| = |V_{\text{meas}}| \cdot \frac{|Z_{\text{input}} + 50\Omega|}{|Z_{\text{input}}|} \cdot a_F, \quad (3)$$

где Z_{input} – измеренный входной импеданс и a_F – коэффициент усиления антенны. Результаты очень похожи на входную и излучаемую мощности, показанные на рис. 3. Резонанс на 486,7 МГц намного острее и выше в моделировании, чем в измерении. Значение напряженности поля на 700 МГц показывает очень хорошее согласование между измерением и моделированием.

Результаты компьютерного моделирования были получены для входного импеданса, наведенных напряжений и значений напряженности электрического поля в дальней зоне. Сравнения с результатами измерений показывают хорошее согласование, но нереалистичные острые резонансы были найдены для объемного резонатора, когда щели находятся в области низкой напряженности поля и не вносят существенные потери на излучение. В этих случаях входное сопротивление принимает нереалистичные отрицательные значения, поэтому на этих резонансных участках требуется более детальный анализ.

Литература

1. *Khan Z.A., Bayram Y., Volakis J.L.* An Integrated Hybrid Solver and Measurements for EMI/EMC Analysis of Cables and PCBs Enclosed within Metallic Structures // IEEE Int. Symp. on EMC. 2006. Vol. 2. P. 534–538.

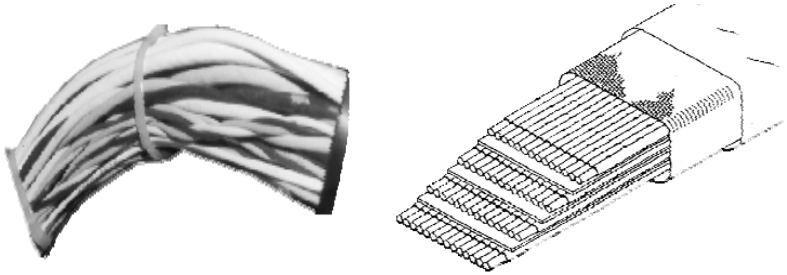
2. *Schlagenhaufer F., He J., Fynn K.* Computer Simulation and Experimental Validation of a Metallic Enclosure with Slots // IEEE Int. Symp. on EMC. 2002. P. 273–278.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКОГО ПЕЧАТНОГО КАБЕЛЯ В СИСТЕМЕ TALGAT

А.М. Заболоцкий, инженер; Е.С. Долганов, студент 5-го курса

ТУСУР, г. Томск, zabolotsky_am@mail.ru

В устройствах для соединения узлов широко используют различные типы кабелей (например: витая пара, коаксиальный кабель, ленточный кабель, гибкий печатный кабель) или сложные структуры в виде жгутов, основанные на технологиях «wire-per-wire» и «flat harness» (рис. 1) [1].



а *б*

Рис. 1. Кабельный жгут по технологии: «wire-per-wire» (*а*) и «flat harness» (*б*)

Кабельные соединения характеризуются такими факторами, как полоса пропускания, помехозащищенность, задержка сигнала. Для анализа всех перечисленных факторов в настоящее время широко используется компьютерное моделирование.

В данной работе исследуется только гибкий печатный кабель. Он, благодаря своей гибкости в сочетании с плоской формой и приемлемыми размерами, является наиболее используемым для быстродействующих соединений высокой плотности в компактных потребительских приборах [2].

Цель данной работы – моделирование и вычисление параметров реального гибкого печатного кабеля в системе компьютерного моделирования электромагнитной совместимости TALGAT [3, 4].

Внешний вид исследуемого соединительного элемента, который используется для соединения узлов в аппаратуре, устанавливаемой в спутниках, представлен на рис. 2. Из него видно, что каждый разъем объединяет пару кабелей с воздушными зазорами. Это усложняет компьютерное моделирование, поэтому ограничимся исследованием структуры одного гибкого печатного кабеля.

Рис. 2. Реальный соединительный элемент

Сначала в TALGAT была построена структура поперечного сечения, показанная (для двух проводников) на рис. 3, где ширина проводников W = 0,6 мм, расстояние между проводниками S = 0,3 мм, толщина

проводников T = 0,03 мм, толщина верхнего и нижнего слоя с ε_{r2} = 4,3 равна 0,03 мм, толщина среднего слоя с ε_{r1} = 4 равна 0,09 мм.

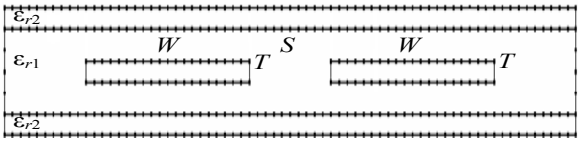


Рис. 3. Поперечное сечение исследуемого кабеля

Границы проводников и диэлектриков сечения кабеля разбиты на множество интервалов – сегментов дискретизации, число которых влияет на точность вычислений и время выполнения программы. Прежде чем приступить к вычислениям параметров кабеля с большим количеством проводников найдем приемлемое значение интервала дискретизации. Для этого построим зависимости значений единичных матриц L и C от ширины интервала дискретизации d (рис. 4).

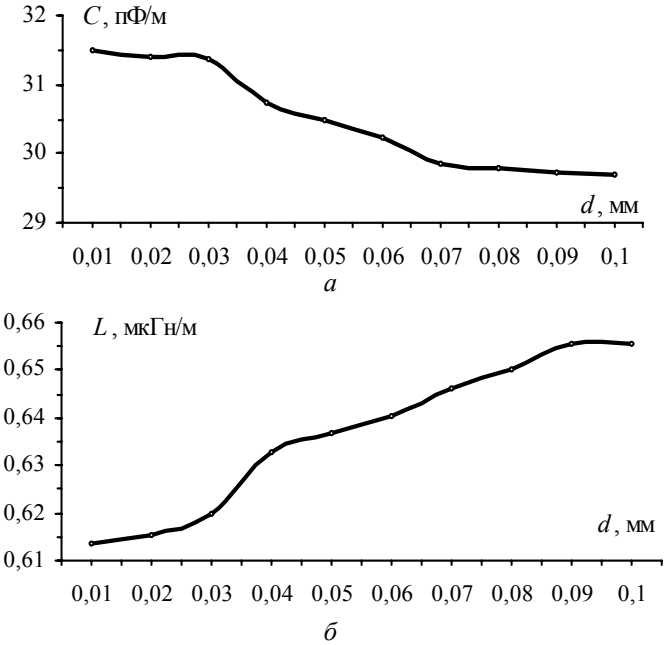


Рис. 4. Зависимости C (*а*) и L (*б*) от d

Из графиков видно, что приемлемая ширина интервала дискретизации, по крайней мере для исследованной конфигурации, находится в диапазоне 0,01–0,03 мм. Предпочтительным является значение 0,03 мм, поскольку оно при приемлемой точности (менее 1%) резко ускоряет вычисления.

Литература

1. *Kosdikian F., Paumier F., Ballenghien J.L.* EMC on new efficient and economic cabling system // Proc. of IEEE EMC. 2002. P. 203–206.

2. *Ahn S., Kim J., Lee H., Kim J.* Experimental Investigation of Radiated Emission from Flexible Printed Circuit (FPC) Cable // Proc. of IEEE EMC. 2002. P. 883–888.

3. *Свидетельство* об отраслевой регистрации разработки № 8376 от 24.05.2007 г. «Система компьютерного моделирования сложных структур проводников и диэлектриков TALGAT» (*Газизов Т.Р., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т., Куксенко С.П., Заболоцкий А.М., Костарев И.С.*), зарегистрированной в Отраслевом фонде алгоритмов и программ Госкоорцентра Минобрнауки РФ с присвоением номера государственной регистрации – регистрационный номер ВНТИЦ 50200701103.

4. *Газизов Т.Р., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т., Куксенко С.П., Заболоцкий А.М., Костарев И.С.* Система компьютерного моделирования сложных структур проводников и диэлектриков TALGAT // Компьютерные учебные программы и инновации. М: ГОСКООРЦЕНТР, МФЮА, РУИ. 2007. №10. С. 89–90.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Т.Т. Газизов, аспирант

ТУСУР, г. Томск, timur@tomline.ru

В последние годы проблема оптимизации сложных систем, к которой сводятся многие социально-экономические, технические, организационно-управленческие, комбинаторные задачи и задачи теории игр, становится одной из ведущих в мире искусственного интеллекта. Она часто представима в виде функции цели, которую необходимо оптимизировать (причем функция цели не всегда задана аналитическим путем, а иногда и в виде «черного ящика»), и некоторого набора начальных данных и ограничений на решение. Этому представлению соответствуют и задача о путешествующем коммивояжере, и задача об оптимальном размещении, и задачи нахождения динамического баланса, и многие другие задачи из соответствующих областей. Для большинства таких задач детерминированные методы решения не приемлемы или не обеспечивают необходимой степени точности. Поэтому необходим альтернативный подход – использование эволюционных методов глобальной оптимизации и намеренное введение

элемента случайности в алгоритм поиска. При этом случайность будет служить целям сбора информации о поведении объекта исследования и целям управления. Основными достоинствами таких методов являются [1–2]:

– повышенное быстродействие;

– высокая надежность и помехоустойчивость;

– высокая робастность, т.е. малочувствительность к нерегулярностям поведения целевой функции, наличию случайных ошибок при вычислении функции;

– сравнительно простая внутренняя реализация;

– малочувствительность к росту размерности множества оптимизации;

– возможность естественного ввода в процесс поиска операции обучения и самообучения;

– в рамках известных схем случайного поиска легко строятся новые алгоритмы, реализующие различные эвристические процедуры адаптации.

Цель данной работы – представить классификацию методов оптимизации при решении задачи проектирования, а также классификацию популярных методов глобальной оптимизации, которые встречаются на практике наиболее часто и их использование для решения задачи проектирования в электродинамике, по мнению автора, является наиболее перспективным.

В работе [3] приведен подробный анализ применения эволюционных методов для задач проектирования, как итерационного процесса, в котором чередуются процедуры синтеза и анализа. Синтез – это создание проектного решения в виде описания облика изделия, его конструкции, структурной, функциональной или принципиальной схемы. Анализ – это оценка результатов синтеза. В современных САПР преимущественно развиты математическое и программное обеспечения процедур анализа. При этом задача синтеза часто сводится к задаче оптимизации. Используя материалы [4], можно в следующем виде представить общую классификацию методов оптимизации в зависимости от сложности поставленной задачи проектирования (рис. 2).

Однако если говорить об электродинамике, где задача проектирования является трудно формализуемой, то ее можно решить только с использованием глобальных методов оптимизации. Приведем классификацию глобальных методов (рис. 3) [5].

2. Классификация методов оптимизации в зависимости от сложности поставленной задачи

3. Методы глобальной и локальной оптимизации

Литература

1. *Растригин Л.А.* Статистические методы поиска. М.: Наука, 1968.
2. *Goldberg. E.* Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning. Addison-Wesley, 1989.
3. *Норенков И.П., Арутюнян Н.М* Эволюционные методы в задачах выбора проектных решений Наука и образование. 2007. № 9. (до 2007 г. назывался: «Инженерное образование. Наука в образовании»).
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Computational_intelligence
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Global_optimization

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ БУЛЬБАРНОЙ КОНЪЮНКТИВЫ

Е.Н. Грибов, И.А. Кузнецов, студенты 5-го курса, РТФ

ТУСУР, г. Северск, gribov-e@rambler.ru

ТУСУР, г. Томск, ikuz86@mail.ru

Интерес к методам цифровой обработки изображений (ЦОИ) исходит из двух основных областей ее применения, которыми являются повышение качества изображений для улучшения его визуального восприятия человеком и обработка изображений для их хранения, передачи и представления в автономных системах машинного зрения. Проделанная ниже работа направлена на определение границы области ЦОИ и перечень задач, стоящих к решению. Приводятся результаты программной реализации процедур цифровой обработки изображений.

Введем понятия цифрового изображения и цифровой обработки изображения. Изображение можно определить как двумерную функцию $f(x, y)$, где x и y – координаты в *пространстве* (конкретно, на плоскости) и значение которой в любой точке, задаваемой парой координат (x, y), называется *интенсивностью* или *яркостью* изображения в этой точке. Если величины x, y и f принимают конечное число дискретных значений, то говорят о *цифровом изображении* [1].

Определение ЦОИ, которого мы придерживаемся в работе, выглядит следующим образом: то, что называют «цифровой обработкой изображений», включает в себя процессы с изображениями на входе и на выходе, а также процессы извлечения признаков из изображений, вплоть до (или включая) распознавание индивидуальных объектов.

Авторы данной статьи сосредоточились на программной реализации регистрации изображения и его преобразования. Задачами первого этапа работы над программой автоматического определения параметров сосудов бульбарной коньюктивы были алгоритмы реализации следующих процедур цифровой обработки изображения:

– инвертирование цветов изображения в формате bmp;

– преобразование цветного изображения в формате bmp в монохроматическое.

В результате проделанной работы было написано приложение (см. рис. 1) в среде Delphi 7 Studio на языке Object Pascal, которое позволяет решать поставленные задачи. Delphi 7 Studio позволяет реализовать объектно-ориентированное программирование в построении программ и систем [2]. Одним из достоинств Delphi 7 Studio является «Интегрированная среда разработки» (ИСР), которая интегрирует в себе редактор кодов, отладчик, инструментальные панели, редактор изображений и инструментарий баз данных.

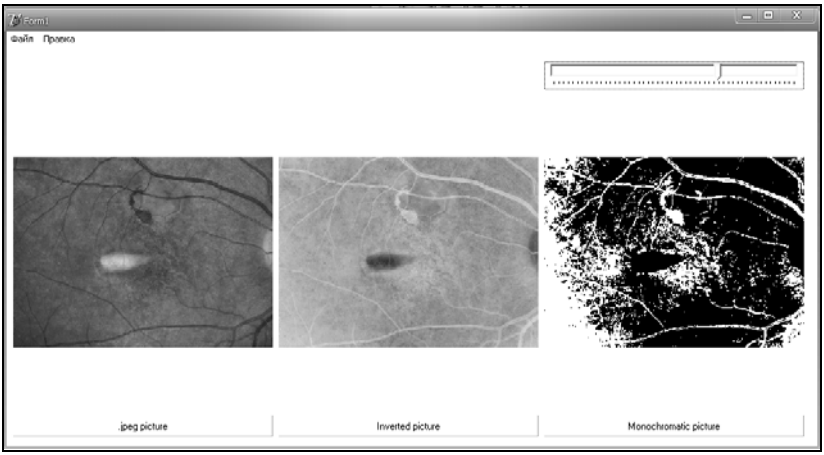
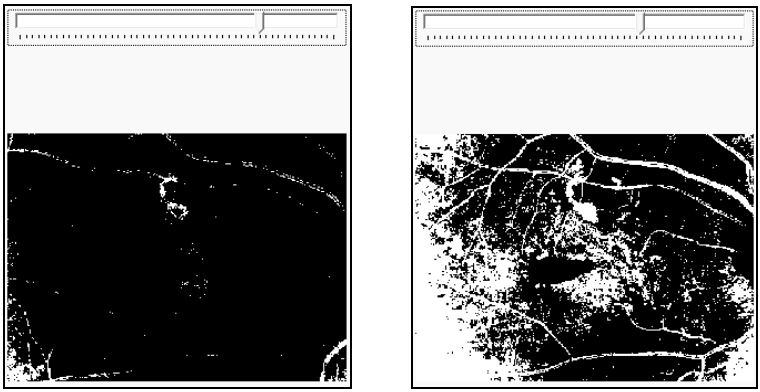


Рис. 1. Окно обработки изображения полученного программного продукта

Программа реализует несколько алгоритмов цифровой обработки изображений, одним из которых является алгоритм преобразования формата изображения JPEG (Joint Photographic Experts Group) в BMP (Bitmap). Этот алгоритм предоставляет возможность работать с битовой картой (Bit Map) изображения, т.е. появляется возможность работать с каждым пикселем изображения отдельно. После преобразования типа изображения реализуется процедура инверсии цветов изображения. Благодаря этой процедуре более темные участки изображения (в нашем случае – сосуды) становятся намного заметнее, т.е. увеличивается разница по яркости между сосудистой сеткой и темным фоном снимка. И завершающей процедурой обработки цифровой фотографии бульбарной коньюктивы является процедура превращения изображения в монохроматическое.

При переходе от цветного изображения к монохроматическому появляется возможность работать непосредственно с яркостными характеристиками каждого пикселя, что является необходимым для решения задачи определения параметров сосудов бульбарной коньюктивы. Для повышения эффективности работы с результатом обработки изображения в программе предусмотрен регулятор порога яркости (см. рис. 2).



а *б*

Рис. 2. Изменение порога яркости с помощью регулятора

Получив монохроматическое изображение можно представить изображение в виде двумерного массива, содержащего значения яркости каждого пикселя. Двумерный цифровой массив будет основой расчета параметров сосудов бульбарной коньюктивы. Именно задача обработки массива яркости является наиболее сложной и целевой задачей всего проекта.

Следующим шагом в создании программы цифровой обработки изображений является реализация регистрации изображения и представления его в цифровой форме (осуществление квантования и дискретизации). Особое внимание следует обратить на частотные методы улучшения изображений и программную реализацию цифровой фильтрации. Выбор частот фильтрации зависит от задачи. В целом необходимо реализовать программу, позволяющую анализировать изображения, а значит, интерпретировать и принимать решения.

Литература

1. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

2. *Архангельский А.Я.* Программирование в Delphi 7. М.: Бином-Пресс, 2003. 1152 с.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

И.В. Григорьев, аспирант; А. Васин, студент 5-го курса
ТУСУР, г. Томск, vaneo@mail.ru

Технология Microsoft Directshow [1] является одной из самых распространенных технологий в области программной обработки медиаданных – благодаря гибкой модульной архитектуре, открытому интерфейсу и удобству решения задач на основе ее программных средств. Программные компоненты в Directshow выполнены в виде фильтров (COM-объекты), предоставляющих набор стандартных интерфейсов, с помощью которых осуществляется настройка фильтра или устройства, с которым он связан. DirectShow-фильтры можно разделить на три большие группы: фильтры-источники (source-filters), фильтры-преобразователи (transform-filters) и фильтры-визуализаторы (rendering-filters). В процессе написания transform-фильтров, а также решения задач, связанных с их участием (компрессия видеопоследовательности, декомпрессия, изменение размера кадра, изменение частоты кадров в секунду, смена графического цветового пространства и т.д.), возникает необходимость в сборе и предоставлении детализированной информации о характеристиках обработанной видеопоследовательности.

Для решения поставленного круга задач был разработан специальный программный модуль, реализованный в виде Directshow-фильтра. Данный компонент накладывает собранную информацию о характеристиках видеопоследовательности на кадр в виде растра, что очень удобно для восприятия, а также записывает ее в log-файл (путь к файлу можно задать как вручную, так и с помощью стандартного диалога). Разработанный модуль выгодно отличается от своих немногочисленных аналогов [2, 3] большей информативностью, удобным пользовательским интерфейсом и рядом отличительных особенностей.

Ниже приведен список наиболее значимых параметров, вычисляемых фильтром:

- соотношение длины изображения к ширине;
- цветовая глубина изображения (бит);
- номер текущего кадра при текущем значении действительной частоты кадров в секунду;
- скорость ошибочных данных в видеопотоке (Мбит/с);
- действительная частота кадров в секунду (кадров/с);
- скорость входного потока данных (Мбит/с);
- размер изображения (пиксель);

- тип чересстрочной развертки;
- графический формат изображения;
- время начала медиасэмпла (с);
- время окончания медиасэмпла (с);
- время проигрывания видеопоследовательности (час : мин : с : мс);
- текст, вводимый пользователем. может использоваться для каких-либо подписей, заметок;
- длительность сэмпла (с);
- частота кадров в секунду, прописанная в заголовке медиасэмпла (кадров/с);
- число воспроизведенных кадров;
- тип кадра (I, P, B);
- длительность от начала предыдущего медиасэмпла до начала текущего (с);
- задержка между кадрами (с);
- индикатор, показывающий положение действительной частоты кадров в секунду относительно частоты кадров в секунду, прописанной в заголовке медиасэмпла;
- общая загрузка процессора (%);
- загрузка процессора текущей программой (%).

Все данные отображаются на кадре в виде столбца строк. Программный модуль обладает возможностью менять порядок следования параметров, что осуществляется посредством Drag&Drop на странице свойств фильтра. Внешний вид текста (цвет, шрифт, цвет фона, положение текста на кадре) тоже можно настраивать.

Запись информации в log-файл осуществляется в формате *.txt, где каждый параметр записывается с меткой времени и *.csv – формат, используемый программой Microsoft Excel, входящей в пакет Microsoft Office, что позволяет при необходимости построить график изменения любого из параметров. В таблице приведен фрагмент log-файла.

Фильтр умеет работать с девятью наиболее распространенными графическими форматами: RGB24, RGB32, YUY2, YVYU, UYVY, YV12, YV16, RGB555, RGB565.

Отличительной особенностью фильтра является поддержка SMP (Symmetrical MultiPropcessing). Это значит, что, если в системе более одного процессора, нагрузка будет распределяться между ними равномерно, позволяя программе работать быстрее.

Разработанный программный модуль используется в отделе тестирования компании Элекард Девайсез для проверки и тестирования transform-фильтров.

Фрагмент log-файла

Frame played	Input size	FPS real	Start Time	Duration start – stop	Media Type	BitCount	Frame Type	Input bitRate	CPU Usage
38	384 x -480	29,97	1,268	0,033	YUY2	4:2:2 (16 bpp)	B	81,02	17
39	384 x -480	29,97	1,301	0,033	YUY2	4:2:2 (16 bpp)	P	81,02	17
40	384 x -480	29,97	1,335	0,033	YUY2	4:2:2 (16 bpp)	B	81,02	17
41	384 x -480	29,97	1,368	0,033	YUY2	4:2:2 (16 bpp)	B	81,02	17
42	384 x -480	29,97	1,401	0,033	YUY2	4:2:2 (16 bpp)	P	81,02	17
43	384 x -480	29,97	1,435	0,033	YUY2	4:2:2 (16 bpp)	B	81,02	17
44	384 x -480	29,97	1,468	0,033	YUY2	4:2:2 (16 bpp)	B	81,02	17
45	384 x -480	29,97	1,501	0,033	YUY2	4:2:2 (16 bpp)	P	81,02	17
46	384 x -480	29,97	1,535	0,033	YUY2	4:2:2 (16 bpp)	B	81,02	17

Литература

1. *Microsoft* DirectX 9.0 Documentation [Электронный ресурс]. – 2002. www.msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/nhp/Default.asp?contentid=28000410

2. *Ffdshow* tryouts [Электронный ресурс]. 2006. http://www.ffdshow.info/

3. *MontiVision* Text Overlay DirectShow Filter [Электронный ресурс]. 2007. http://www.montivision.com/support/documentation/frames/index.html?page=source%2Ffilter%2Ftext_overlay_filter.htm

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Э.К. Исабеков, студент 3-го курса; С.П. Куксенко, инженер

ТУСУР, г. Томск, emil_2005@bk.ru

В науке и технике постоянно приходится сталкиваться с проблемой расчета объектов, имеющих сложную геометрическую конфигурацию и нерегулярную физическую структуру. Компьютеры позволяют выполнять такие расчеты при помощи приближенных численных методов. Метод конечных элементов (МКЭ) является одним из них. В последние десятилетия он занял ведущее положение и получил широкое применение. Особенностью МКЭ, по сравнению, например, с методом моментов, является то, что он приводит не к плотной, а к разреженной матрице системы линейных алгебраических уравнений [1].

Целью данной работы является ознакомление с особенностями метода конечных элементов.

Метод конечных элементов основан на идее аппроксимации непрерывной функции дискретной моделью, которая строится на множестве

кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей, называемых конечными элементами. Исследуемая геометрическая область разбивается на элементы таким образом, чтобы на каждом из них неизвестная функция аппроксимировалась пробной функцией (как правило, полиномом). Причем эти пробные функции должны удовлетворять граничным условиям непрерывности, совпадающим с граничными условиями, налагаемыми самой задачей. Выбор для каждого элемента аппроксимирующей функции определяет соответствующий тип элемента [2, 3].

МКЭ наилучшим образом применим при решении задач, когда рассматриваемая структура состоит:

- из проводников произвольной формы;
- из изотропных и анизотропных материалов;
- из однородных и неоднородных материалов.

Далее приведены дифференциальные уравнения для электромагнитных полей. Задачи в низкочастотной области (электрически маленькой) описываются уравнениями Лапласа для скалярного потенциала (1), а в высокочастотной области описываются уравнениями Гемгольца для E и H полей (2).

$$\nabla^2\phi = 0\,,\ E = -\nabla\phi \tag{1}$$

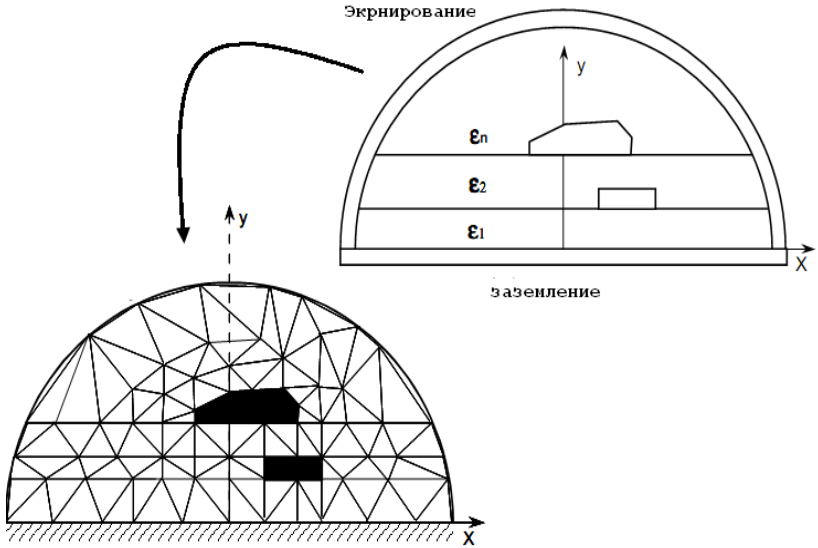
$$\nabla\left[\frac{1}{\mu}\nabla E\right] - k^2\varepsilon E = F \tag{2}$$

Таким образом, для использования МКЭ необходимо: записать дифференциальные уравнения; осуществить предварительную обработку (область дискретизации и образование ячейки); осуществить интерполяцию базисных функций; произвести вычисление элементов уравнений; сформировать глобальную СЛАУ; наложить специальные граничные условия для окружающего пространства; решить глобальную СЛАУ; осуществить постобработку данных.

При использовании МКЭ анализируемый объект представляется в виде совокупности простых геометрических объектов (рис.) – конечных элементов, для каждого из которых заранее определен вид функциональной зависимости распределения перемещений в этом элементе от перемещений в его узлах.

Вектор базисных функций представляет собой двухмерную линейную тангенсально-квадратичную нормаль, берущую начало на границе элемента. Нормали могут изображаться посредством треугольного основания.

Проблемы, возникающие при рассмотрении объекта, находящегося в пространстве, могут быть решены несколькими способами за счет использования: простых ячеек; бесконечных элементов; условий поглощающей границы, как аналитических, так и численных; идеально подобранных уровней.



Пример дискретизации объекта при использовании МКЭ

Рассмотрим понятие бесконечных элементов. Анализ ближней зоны основывается на МКЭ, а анализ дальней зоны на бесконечных элементах. Пусть границы дальней зоны приближены к интересующей нас области, соответственно, это приведет к уменьшению размера ячейки, что тем самым приведет к снижению требуемой памяти и временных затрат.

Далее отметим основные достоинства и недостатки МКЭ.

МКЭ позволяет успешно проводить анализ для полных неоднородных главным образом диэлектрических структур. МКЭ позволяет адаптировать ячейку к произвольным границам. Элементы матрицы СЛАУ вычисляются с помощью простых арифметических операций. Глобальная матрица всегда является разреженной, тем самым для решения СЛАУ требуются порядка N^{15} арифметических операций.

К недостаткам метода можно отнести не очень хорошую приспособленность для преимущественно тонких длинных металлических структур. Метод элементарно нуждается в усовершенствовании для уменьшения размеров ячеек.

МКЭ широко используется в универсальных и хорошо себя зарекомендовавших пакетах программ, например, HFSS [4], ANSYS [5], MSC NASTRAN [6] и др.

Литература

1. *Pantic-Tanner Z.* The Finite Element Method Primer // IEEE Int. Symp. on EMC, 2002. P. 151–156.
2. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 318 с.
3. *Сегерлинд. Л.* Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.
4. www.ansoft.com
5. http://ansys.com
6. www.mscsoftware.com

КАСКАД РЕГУЛИРОВКИ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ

А.Р. Колчева, студентка 5-го курса

ТУСУР, г. Томск, kar2007@sibmail.com

В самых различных вычислительных и измерительных устройствах, в системах связи и управления схемы с регулируемым коэффициентом усиления нашли широкое применение.

Регулировка усиления служит для изменения уровня выходного сигнала при постоянном входном или поддержания постоянного уровня выходного сигнала при изменении входного, в частности предотвращения перегрузки усилителя большим сигналом.

Регулировка может быть ручной или автоматической, плавной или ступенчатой.

Чаще всего применяется так называемая потенциометрическая схема регулировки усиления (рис. 1, *а*), осуществляемая включением регулирующего переменного резистора R_p, имеющего три вывода, по схеме потенциометра, который изменяет коэффициент деления поданного на него напряжения [1]. Однако такая схема не позволяет осуществить дистанционное регулирование коэффициента усиления.

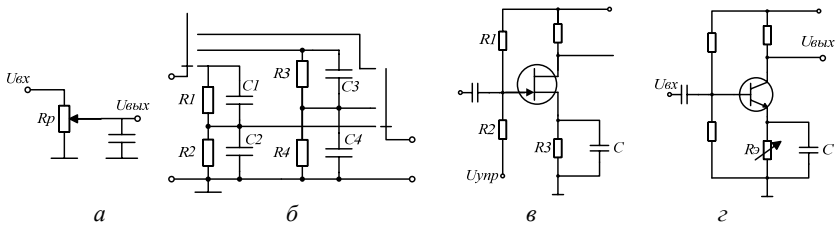


Рис. 1. Каскады регулировки усиления

Ступенчатые регуляторы обычно строятся по потенциометрической схеме и представляют собой делители напряжения, состоящие из резисторов. Они могут выполняться либо по схеме последовательного соединения нескольких резисторов, либо в виде набора нескольких независимых делителей (рис. 1, *б*). Из-за входной емкости следующего каскада резисторный делитель создает искажения формы импульсов и заваливает частотную характеристику на высоких частотах. Для устранения указанного недостатка все резисторы шунтируются подстроечными конденсаторами. Такие частотнонезависимые схемы применяют в измерительной аппаратуре (вольтметрах, осциллографах и т.д.).

Распространены и схемы регулировки изменением тока в рабочей точке полевого транзистора, осуществляемой путем подачи управляющего напряжения на затвор транзистора через резистор $R2$ делителя смещения (рис. 1, *в*). Для регулировки усиления используют зависимость крутизны стокозатворной характеристики полевого транзистора от напряжения на затворе. Однако этот способ не позволяет получить глубокую регулировку усиления.

Широкое распространение получили и схемы регулировки усиления путем изменения глубины отрицательной обратной связи (ООС) в усилителях. Такие схемы строятся на биполярных/полевых транзисторах или операционных усилителях. Так, например, при увеличении сопротивления резистора в цепи эмиттера (рис. 1, *г*) увеличивается вносимая в каскад этим резистором отрицательная обратная связь и усиление каскада падает.

В схемах регулировки усиления путем изменения ООС на операционном усилителе в роли управляемого резистора применяют электрически управляемые сопротивления, в качестве которых используют в основном полевые транзисторы (рис. 2, *а*) и оптроны [2].

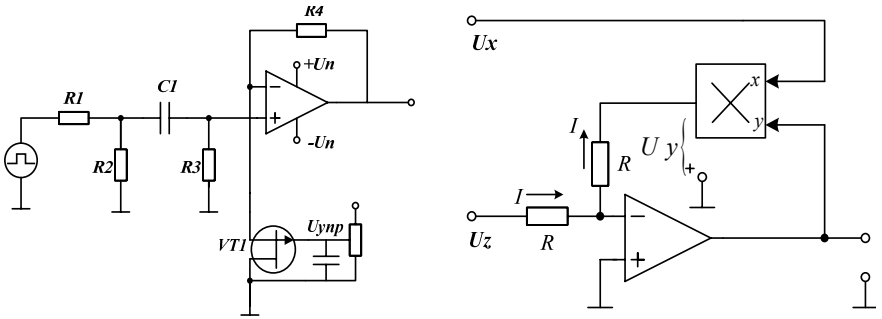


Рис. 2. Каскады регулировки коэффициента усиления

Сопротивление канала полевого транзистора на крутых начальных участках между его стоком и истоком R_{cu} при напряжениях любой полярности, не превышающих напряжение отсечки, почти линейно и зависит от напряжения смещения затвор – исток. Поэтому управляющее напряжение $U_{упр}$ используется в качестве напряжения смещения транзистора. Увеличение управляющего напряжения увеличивает сопротивление R_{cu} и глубину ООС, охватывающей ОУ, что уменьшает усиление.

Применение электрически управляемых сопротивлений позволяет осуществлять дистанционное управление, так как длина проводов для подачи управляющего постоянного напряжения может быть любой.

Известны также схемы регулировки усиления с применение аналогового перемножителя [3]. Схема образуется включением перемножителя в цепь обратной связи операционного усилителя (рис. 2, *б*). Если на один из входов перемножителя подавать постоянное напряжение, а на другой – переменное, то можно осуществить линейное регулирование амплитуды переменного сигнала путем изменения постоянного напряжения. Выходное напряжение операционного усилителя имеет вид:

$$U_{вых} = -\frac{10U_z}{U_X}. \qquad (1)$$

Такой усилитель можно рассматривать как устройство с коэффициентом усиления $10/U_X$, имеющее U_z в качестве входного сигнала.

Для проведения опыта была собрана схема (рис. 2, *а*) на широкополосном ОУ (AD8051AR) и полевом транзисторе (КП303Д). Управление осуществляется изменением управляющего напряжения сопротивления потенциометром, подключенным к затвору полевого транзистора. Эксперимент показал, что при подборе соответствующего сопротивления в обратной связи $R4$ можно получить диапазон регулировки усиления порядка 20 дБ при верхней граничной частоте на менее 6,5 МГц. Если необходимо получить больший диапазон регулирования, то можно применить две ступени регулирования, включенные одна за другой. Достоинством данной схемы является то, что частотная характеристика остается равномерной в требуемом диапазоне частот. Это вполне применимо для использования в блоке оконечного видеоусилителя телевизионной установки.

Если $U_{упр}$ формировать на основе выходного напряжения усилителя, то можно осуществить автоматическую регулировку усиления, обеспечивающую почти постоянную амплитуду выходного напряжения.

Литература

1. *Цыкин Г.С.* Усилительные устройства. М.: Связь, 1971. 366 с.
2. *Павлов В.Н., Ногин В.Н.* Схемотехника аналоговых электронных устройств. М.: Горячая линия – Телеком, 2003. 320 с.
3. *Гусев В.Г., Гусев Ю.М.* Электроника и микропроцессорная техника. М.: Высшая школа, 2004. 790 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ СЛАУ ИТЕРАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

С.Т. Сивцев, студент 4-го курса; С.П. Куксенко, инженер

ТУСУР, г. Томск, KSergP@mail.ru

Для решения задач электромагнитного поля существуют различные подходы, которые сводятся к аналитическому или численному решению соответствующих интегральных или дифференциальных уравнений в частотной или временной области, из которых особо выделяется метод моментов. Использование которого при решении задач электромагнитного поля сводится к нескольким шагам, основные затраты которых связаны с вычислением элементов матрицы системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) и решением СЛАУ вида

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{b}, \tag{1}$$

где $\mathbf{A}$ – плотная $N \times N$ матрица, $\mathbf{b}$ – вектор свободных членов, а $\mathbf{x}$ – вектор неизвестных [1]. Как известно, временные затраты значительно превышают затраты на заполнение матрицы при использовании прямых методов. Итерационные методы позволяют сократить время решения СЛАУ и тем самым снизить общие временные затраты [2].

Целью данной работы является поиск новых путей совершенствования решения СЛАУ с плотной матрицей итерационными методами.

Необходимость решения сложных задач, дающих рост N, привела к широкому применению итерационных методов. Вычисление итерационными методами зависит от обусловленности матрицы $\mathbf{A}$, оцениваемой числом обусловленности $\mathrm{cond}\mathbf{A} = \|\mathrm{A}\|\cdot\|\mathrm{A}^{-1}\|$, с ростом которого обусловленность ухудшается, и для ряда проблем сходимость может оказаться очень медленной. Однако применение так называемого предобусловливания, приведение исходной системы (1) к виду

$$\mathbf{M}^{-1}\mathbf{Ax} = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{b} \tag{2}$$

или $\mathbf{MAx} = \mathbf{Mb}$ улучшает сходимость к требуемому решению. Из (2) сразу же вытекает важное требование: матрица $\mathbf{M}$ должна быть близка к матрице $\mathbf{A}$. Выбор $\mathbf{M} = \mathbf{A}$ сразу же приводит $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ к виду $\mathbf{Ix} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{b}$, однако не имеет практического смысла, так как требует нахождения $\mathbf{A}^{-1}$, что, по существу, и сводится к решению (1). Вторым естественным тре-

бованием является требование легкой вычислимости матрицы **M**. Исходя из требований, накладываемых на матрицу **M**, очевидно, что для возможности решения СЛАУ с плотной матрицей итерационными методами с предобусловливанием, необходимо чтобы матрица **M** была разреженной. Из условий, накладываемых на матрицу **M**, следует, что перед ее вычислением первоначально необходимо осуществить предварительную фильтрацию структуры ненулевых элементов исходной матрицы (предфильтрация). Таким образом, матрица **M** формируется не из матрицы **A**, а из матрицы $\mathbf{A}^s$, получаемой из исходной матрицы по некоторому правилу. Далее производя, например, LU- или ILU(0)-разложение матрицы $\mathbf{A}^s$ получают матрицу **M** в виде, удобном для дальнейшего использования [2].

Общее время решения СЛАУ с плотной матрицей итерационными методами с предобусловливанием состоит из времени, затрачиваемого на осуществление предфильтрации, времени на формирование матрицы предобусловливания и времени на N_{it} итераций, требуемых для получения решения с заданной точностью, контролируемой с помощью параметра *Tol*. С учетом указанного, вычислительную схему итерационного метода можно представить следующим образом.

Произвести заполнение матрицы $\mathbf{A}^s$ из матрицы **A**, основываясь на предфильтрации.

Сформировать матрицу **M** из $\mathbf{A}^s$.

Задать начальное приближение $\mathbf{x}_0$ и максимальное число итераций N_{it}^{max}

$k = 1, \ldots, N_{it}^{max}$

…

Решить разреженную СЛАУ $\mathbf{Mz} = \mathbf{y}$.

…

Если $\|\mathbf{b} - \mathbf{Ax}_k\|_2 / \|\mathbf{b} - \mathbf{Ax}_0\|_2 < Tol$

то *Конец итераций* ($\mathbf{x}_k$ – полученное решение):

Иначе $k = k + 1$.

Отметим, что затраты на предфильтрацию непосредственно влияют на затраты, необходимые на формирование матрицы предобусловливания **M** и, соответственно, на затраты каждой итерации, поскольку необходимо решать (один или два раза в зависимости от метода) СЛАУ с разреженной матрицей **M**.

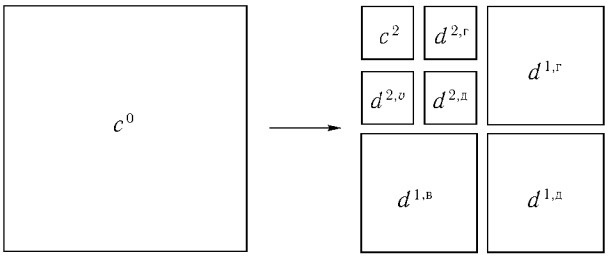
В настоящее время вейвлеты широко используются, в основном, для сжатия изображения [4]. Схема одного из методов приведена на рисунке.

Если изначально изображение (c^0) задано массивом $N \times N$, то (оставляя в стороне краевые эффекты) каждый массив $d^{1,в}$, $d^{1,г}$, $d^{1,д}$ состоит из $N/2 \times N/2$ элементов и таким образом может быть представлен изобра-

жением в 4 раза меньшим, чем изначальный. Это достигается при помощи вейвлетовых коэффициентов фильтра, которые и определяют специфический набор вейвлета. Максимально упростив данный метод, оставив только четыре коэффициента (c0, c1, c2, c3), можно составить матрицу вейвлет преобразования

$$\begin{bmatrix} c0 & c1 & c2 & c3 & & & & & & & & \\ c3 & -c2 & c1 & -c0 & & & & & & & & \\ & & c0 & c1 & c2 & c3 & & & & & & \\ & & c3 & -c2 & c1 & -c0 & & & & & & \\ . & . & & & & . & & & & & & \\ . & . & & & & & . & & & & & \\ . & . & & & & & & . & & & & \\ & & & & & & & c0 & c1 & c2 & c3 & \\ & & & & & & & c3 & -c2 & c1 & -c0 & \\ c2 & c3 & & & & & & & & c0 & c1 & \\ c1 & -c0 & & & & & & & & c3 & -c2 & \end{bmatrix}, \qquad (3)$$

где чистые вхождения показывают ноли. Стоит обратить внимание на структуру этой матрицы. Первый ряд производит один компонент данных, скрученный с коэффициентами фильтра c0, c1, c2, c3. При умножении на исходную матрицу, матрица-преобразователь, в целом, должна сделать два связанных скручивания, чтобы разбить каждый из рядов на половину (отбросить половину значений), и чередовать оставшиеся половины. Фактически коэффициенты матрицы (3) выбирают так, чтобы иметь некоторое число исчезающих моментов.



оригинал разложение в два слоя

Схематическое представление визуализации двумерного вейвлет-преобразования

Известно, что произведение произвольной плотной матрицы и матрицы (3) приведет к тому, что результирующая матрица будет иметь значительное количество элементов, абсолютное значение которых будет очень мало и в последствии которые могут быть обнулены. Таким образом, матрицу (3) можно использовать не как приведение исходной матрицы к разреженному виду, а как способ формирования матрицы предобусловливания, что в свою очередь приведет к сокращению временных затрат, приходящихся на формирование матрицы предобусловливания.

Литература

1. *Харрингтон Р.Ф.* Применение матричных методов к задачам теории поля // ТИЭЭР. 1967. № 2. С. 5–19.

2. *Куксенко С.П.* Алгоритмы и программное обеспечение для решения систем линейных алгебраических уравнений при анализе электромагнитного излучения проводных структур. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2007.

3. *Воробьев В.И., Грибунин В.Г.* Теория и практика вейвлет-преобразования. ВУС, 1999.

4. *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: ИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ КЛАСТЕРОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

К.Н. Лаптев, студент 3-го курса, С.П. Куксенко, инженер

ТУСУР, г. Томск, prc_vampir0@mail.ru

В настоящее время технический прогресс достиг очень высокого уровня, и теперь даже рядовой пользователь компьютерных систем может позволить себе ЭВМ, способную решать сложнейшие вычислительные задачи. Однако вместе с развитием IT-индустрии повышаются также и требования к вычислительным мощностям, возникают новые ресурсоемкие задачи, техника быстро устаревает, и вот уже компьютер, считавшийся флагманом год назад, становится «средним» по производительности.

В науке возникают крайне сложные проблемы, например, когда требуется рассчитать электромагнитные наводки на плате. Дело в том, что для решения таких задач за приемлемое время требуются сверхмощные вычислительные комплексы, именуемые «суперкомпьютерами». Подобные ЭВМ весьма дорогостоящи, и, если учесть моральное старение машин, нерентабельны. Однако на сегодняшний день есть альтернатива «суперкомпьютерам». Такой альтернативой являются кластеры.

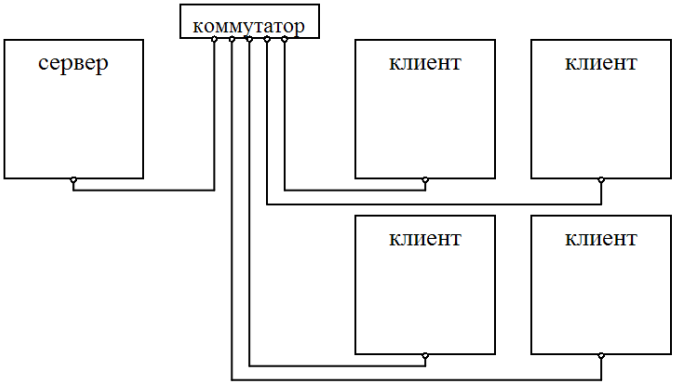
Целью данной работы является анализ перспектив и предложения по использованию кластеров для решения ресурсоемких задач, возникающих в процессе обучения и научной работы студентов и сотрудников высших учебных заведений.

Кластер – это группа компьютеров, объединенных в локальную вычислительную сеть (ЛВС) и способных работать в качестве единого вычислительного ресурса. Ресурс модернизации одного компьютера ограничен. Стандартные материнские платы поддерживают установку одного, максимум двух процессоров, и имеют до 4-х слотов под оперативную память. Таким образом, на данный момент один среднестатистический компьютер может быть оснащен двумя 4-х ядерными процессорами и оперативной памятью общим объемом до 8 Гб. Но ведь архитектура систем семейства Windows, к примеру Windows XP, поддерживает до 32 ядер и значительно больший объем оперативной памяти. Как достичь такой производительности? Объединив несколько компьютеров в кластер, можно обойти даже эти ограничения, поскольку каждый узел сети – это автономный компьютер, дополнительные разъемы и возможности наращивания мощностей.

Для создания кластера требуется значительно меньше финансовых ресурсов, чем для покупки сравнимого по мощности «суперкомпьютера». Возьмем за основу 5 ЭВМ. Желательно, чтобы клиентские машины (узлы ЛВС) были одинаковой конфигурации, тогда сеть будет симметричной, и производительность одного узла не будет ограничиваться другим. Серверная же машина должна быть мощнее, так как, помимо собственных вычислений, она будет координировать вычисления распределенные: отсылать и принимать данные для клиентских машин. Можно предложить следующую конфигурацию кластера:

1. Сервер: процессор Intel Core 2 Quad Q6600 2.4GHz, оперативная память 2×2048Mb DDRII.
2. Клиентские машины (4): процессор Intel Core 2 Duo E6850 3.00GHz, оперативная память 2×1024Mb DDRII.
3. Сетевое оборудование: коммутатор Acorp Gigabit Ethernet SwitchHub 5port 10/100/1000MBps.

Клиентские машины соединяются с сервером через коммутатор, как показано на рисунке. Распределенные вычисления используют большие объемы данных, критичны к пропускной способности сети, поэтому в предложенной конфигурации кластера используется гигабитный коммутатор. На материнских платах клиентских и серверной машин должна присутствовать поддержка технологии Dual Channel для оперативной памяти.



Типовая схема соединения ЭВМ в кластер

Стоит отметить, что выбор операционной системы в большей степени зависит от задач, которые кластер будет решать, и от программного обеспечения, которое должно быть установлено на сервере. Программная реализация – библиотека MPI-интерфейса (Message Passing Interface) MPICH [1] стандарта MPI-1.1, которая и реализует распределение потоков между клиентами и сервером в кластере. Без использования интерфейса MPI кластер превращается в простую локальную сеть и не может быть использован в качестве единого вычислительного комплекса. Поскольку предложенный кластер является альтернативой дорогостоящим системам, предлагается установить на клиентские машины ОС Linux, например, Scientific Linux CERN 4 (SLC4) [2], Debian Linux [3] или Linux Ubuntu 7.04 [2] в сочетании с gLite 3.1 [4]. Системы семейства Linux распространяются по лицензии GPL.

Для повышения производительности можно посоветовать следующее. Если кластер располагается в университете или НИИ, то, заменив 4-портовый коммутатор на 8-портовый, к 3 новым портам можно подключить устройства типа Switch, к каждому из которых будут подключены сети ЭВМ компьютерных лабораторий. Особым образом отформатировав жесткие диски сетевых машин, можно установить ОС Linux как дополнительную систему, не нарушая основных функций компьютеров. В этом случае, когда потребуется большая вычислительная мощность, достаточно перезагрузить машины лабораторий с дополнительной системой, и они станут частью кластера.

В мире кластеры используются для решения многих задач. Это и космические исследования, и прогнозирование метеоусловий, и моделирование термодинамических процессов, физико-химической механики

хрупкого разрушения материалов, в частности их водородного и жидкометаллического измельчения, физических полей в неоднородных средах, и многое, многое другое. Таким образом, построение в современных «тяжелых» экономических условиях компьютерной сети, удовлетворяющей всем требованиям для успешного осуществления научной и учебной деятельности, не только возможно, но и вполне достижимо с реализацией практически всех новшеств информационной науки и IT-технологий.

Литература

1. http://www.mcs.anl.gov/research/projects/mpich2/ Библиотека MPICH2 1.0.7.
2. http://www.linux.com/ Зарубежный сайт ОС Linux.
3. http://www.us.debian.org/support#doc Российский сайт поддержки Debian Linux.
4. http://egee.pnpi.nw.ru/doc/current.html Инструментарий gLite 3.1.
5. http://grid.ntu-kpi.kiev.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=21&Itemid=50 GRID – национальная инфраструктура Украины (отчет).
6. http://www.intuit.ru/goto/lecture/3286/ Принципы построения параллельных вычислительных систем (лекция Интернет-университета информационных технологий).
7. *Абламейко С.В., Абрамов С.М., Анищенко С.В., Парамонов Н.Н., Чиж О.П.* Суперкомпьютерные конфигурации СКИФ. Мн.: ОИПИ, 2005. 170 С.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

О.С. Матасова, студент 5 курс РТФ; Ю.Р. Кирпиченко, к.т.н., доцент

ТУСУР, г. Томск, oksams@mail.ru

Обнаружители оптических систем относятся к одному из наиболее динамично развиваемых и перспективных направлений современной техники. Его возможности далеко не исчерпаны. В настоящее время часто приходится сталкиваться с ситуацией, когда оптические или оптико-электронные средства наблюдения и прицеливания расположены скрытно. Однако их обнаружение возможно по бликам зондирующего излучения, отраженного в сторону наблюдателя от оптической поверхности прицельной марки или шкалы дневного прибора наблюдения или прицеливания либо от фотокатода электронно-оптического преобразователя прибора ночного видения или матрицы ПЗС телевизионной (ТВ) системы.

Этот эффект наиболее наглядно наблюдается при подсвете ночью светом фонаря людей или животных. При этом излучение подсвета отражается от сетчатки глаз и создает яркие светящиеся пятна, хорошо

заметные в ночных условиях. В этих условиях в принципе для обнаружения бликов может быть использован любой прибор ночного видения (ПНВ) в сочетании с осветителем, но наибольший эффект следует ожидать от активно-импульсных приборов ночного видения (АИ ПНВ). Они позволяют обнаружить объект по бликам как при нормальной, так и при пониженной прозрачности атмосферы, в широком диапазоне изменения освещенности (вплоть до дневных условий) и при воздействии световых помех. При необходимости АИ ПНВ позволяют с высокой точностью измерить дальность до объектов наблюдения.

Малогабаритная лазерная локационная аппаратура дистанционной разведки оптических и оптико-электронных средств «Антиснайпер-1». Результаты ее экспериментальных исследований можно увидеть на рис. 1. Дальность действия прибора для R = 5 м^2/Ср составляет 500 м. Лазерный осветитель генерирует на длине волны 0,8 мкм мощность излучения 0,7 Вт. Приемником излучения является ТВ-камера на базе матрицы ПЗС с чувствительностью до 10^{-3} лк. Угол поля зрения прибора равен 5×7º.

Дальнейшим развитием этих приборов явились устройства «Антиснайпер-М» и «Антиснайпер-М2». В приборе «Антиснайпер-М» (рис. 1) лазерный осветитель генерирует мощность излучения 1 Вт на той же длине волны. Прибор «Антиснайпер-М2» обладает еще более высокими характеристиками. Для повышения чувствительности приемного канала применяется новейшая матрица ПЗС фирмы «SONY», выполненная по технологии «ExviewHAD» с цифровым блоком обработки изображения. При этом повышение чувствительности достигается за счет пространственного и временного интегрирования сигналов накопительных элементов матрицы. Это дает выигрыш в отношении сигнал/шум ночью в 100 раз. В лазерном осветителе используется полупроводниковый излучатель с мощностью 2 Вт, работающий в импульсном режиме и управляемый встроенным микрокомпьютером. Структурная схема прибора на рис. 2. Предельная дальность обнаружения световозвращателей с R = 1 м^2/Ср (в диапазоне рабочих освещенностей 10^{-3}–7×10^4 лк) не менее 2000 м. Лазерный осветитель работает на частоте 50 Гц и имеет угол подсвета 2×3º. В приемном канале используется объектив-трансфокатор с переменным увеличением и автодиафрагмой. Угол поля зрения этого канала по горизонту меняется от 3 до 18º. Минимальная рабочая освещенность местности ночью составляет 10^{-4} лк. Масса прибора 1,4 кг, габариты 230×120×90 мм.

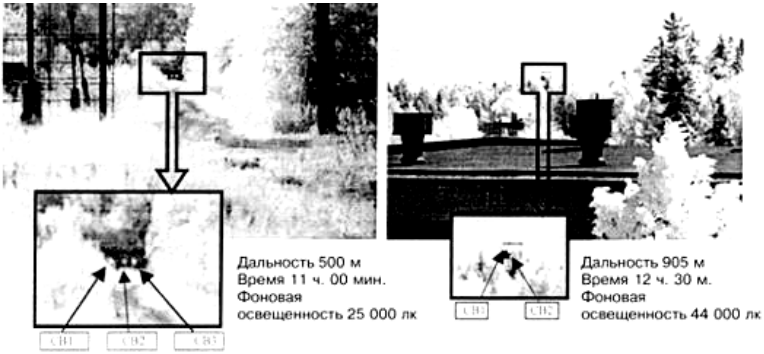


Рис. 1. Результаты экспериментальных исследований прибора «Антиснайпер-М»

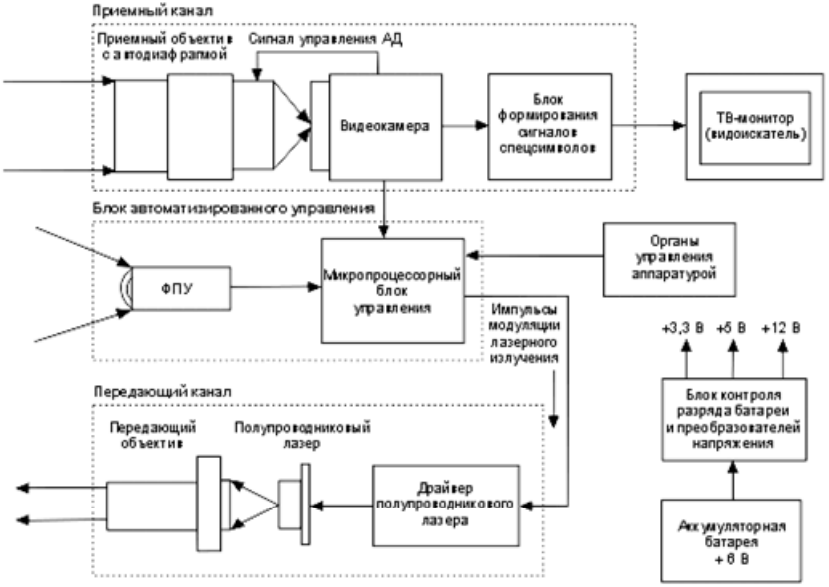


Рис. 2. Структурная схема прибора «Антиснайпер-М2»

Литература

1. *Волков В.Г.* // Специальная Техника. № 2. 2004. http://st.ess.ru/publications/2_2004/volkov/volkov.htm

2. http://www.irsural.ru/sec/catalog/videocam_detectors/product-16131.html

3. http://www.secnews.ru/russian/6044.htm

4. *Малогабаритная* лазерная локационная аппаратура обнаружения оптических и оптико-электронных средств «Антиснайпер-М». Проспект МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2003.

СЕКЦИЯ 4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИООБОРУДОВАНИЯ

*Председатель – **Е.В. Масалов,** д.т.н., профессор каф. КИПР*

ПОДСЕКЦИЯ 4.1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИОМЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ

*Председатель – **С.Г. Еханин,** д.ф.-м.н., профессор КУДР,*
*зам. председателя – **В.А. Молошников**, аспирант каф. КУДР*

СИСТЕМА ПОИСКА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ: МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

А.В. Авраменко, аспирант;
А.В. Дорофеев, В.О. Трусов, студенты 4-го курса РКФ
ТУСУР, г. Томск, stalker@main.tusur.ru

Предлагаемый метод поиска геофизических аномалий основан на предположении о том, что распределение интенсивности потока атмосферных гамма-квантов по поверхности земли повторяет гравитационный рельеф [1, 2].

Таким образом, этот метод поиска геофизических аномалий по классификации можно отнести к гравиразведке, так как исследуемым полем является поле силы тяжести. При этом проводятся измерения величины, косвенно связанной с исследуемым полем, т.е. интенсивности потока. Измерения подобных величин характерны для ядерной геофизики. Поэтому данный метод следует считать смешанным.

Предполагается, что метод имеет некоторые преимущества по сравнению с гравиразведкой. Ожидается, что разрабатываемая система поиска геофизических аномалий будет иметь существенно меньшие массу и

габариты по сравнению с высокоточными механическими приборами, применяемыми в гравиметрии. Для эффективного применения данного метода поиска геофизических аномалий необходимо учитывать ряд мешающих факторов, таких как солнечная активность, естественный радиационный фон, статистические флуктуации потока гамма-квантов.

Постановка задачи

Целью данного этапа работы является разработка методики проведения поиска геофизических аномалий с помощью предложенного ранее метода. Сформулируем ряд основных задач, которые необходимо решить:

– устранить влияние естественного радиационного фона;

– учесть статистические свойства измеряемой величины;

– установить степень влияния солнечной активности.

Методика экспериментальных исследований

Энергия гамма-излучения, испускаемого радионуклидами земного происхождения и образующего естественный радиационный фон, не превышает 2,6 МэВ. Необходимо принять меры для устранения влияния этого фона, так как датчиком должен регистрироваться только поток атмосферных гамма-квантов. Поскольку используемый датчик не позволяет производить селекцию по энергиям, поэтому для отделения частиц с энергиями менее 2,6 МэВ использовался экран из свинцовой фольги.

Солнечная активность, проявляющаяся в возникновении волн плавучести и изменяющая поток атмосферных гамма-квантов [1], является мешающим фактором для поиска геофизических аномалий предложенным методом. Необходимо установить степень влияния процессов, происходящих в атмосфере, на измеряемую интенсивность потока атмосферных гамма-квантов и учесть этот фактор при интерпретации результатов измерений гравитационного рельефа исследуемой местности.

В лаборатории ГПО (аудитории 426 главного корпуса ТУСУР) был проведен ряд экспериментов для выявления временной зависимости интенсивности потока атмосферных гамма-квантов. Измерялось количество частиц, зарегистрированных датчиком за заданные промежутки времени на единице площади. Эксперименты проводились на протяжении нескольких часов двумя датчиками в двух разных комнатах. В программе Excel были построены и изучены графики результатов измерения фонового излучения обоими датчиками.

Как показали эксперименты, существует корреляция между показаниями двух разнесенных датчиков (временные ряды синхронизированы), это значит, что существует детерминированность в изменениях интенсивности атмосферного гамма-излучения.

Кроме того, проводилась проверка соответствия временных рядов пуассоновскому распределению. В программе STATISTICA 6.0 были получены теоретическое и экспериментальное распределения результатов измерения. Величины вероятности того, что распределения пуассоновские, равны соответственно 0,75 и 0,68 (для первого и второго датчиков). Можно говорить о достаточном соответствии результатов эксперимента пуассоновскому распределению. Причины, вызвавшие отклонение, могут быть внешнего характера.

Проведен спектральный анализ временных рядов, полученных в результате эксперимента по измерению фона. Сравнивая полученные результаты с данными [3–5], можно сказать следующее. Большая часть выявленных циклов совпадает с периодами вариаций атмосферных гамма-квантов солнечного происхождения.

Заключение

На основании проведения этих исследований можно предложить, на наш взгляд, наиболее оптимальную (с точки зрения минимизации ошибок измерения) схему исследования геофизической аномалии с введением базовой точки. Предполагается, что следует ввести информационно-измерительную систему, которая будет находиться в базовой точке, и будет отслеживать:

– степень влияния изменения солнечной активности на поток атмосферных гамма-квантов,

– собирать информацию от операторов, следующих с измерительными приборами по маршрутам данной геофизической аномалии,

– сопоставлять полученные данные с картами геологических исследований данной территории.

Литература

1. *Гальпер А.М., Лейков Н.Г., Лучков Б.И.* Гамма-излучение и волны плавучести в атмосфере // Природа. 1981. № 6. С. 14.

2. *Еханин С.Г., Косточко С.В., Лобанов Н.В.* Метод поиска геофизических, геологических и экологических аномалий // Современные проблемы физики и технологии: Тезисы докладов на Второй школе-семинаре молодых ученых, 5–7 февраля 2001 г., Томск). Томск: Изд-во СФТИ, 2001. С. 38.

3. *Акософу С.И., Чепмен С.* Солнечно-земная физика. М.: Мир, 1975. 35 9с.

4. *Обридко В.Н.* О «невозмущенном Солнце», «фоновых полях» и новом взгляде на проблему солнечной активности. http://doktora.nm.ru/15.09.03.htm

5. *Гальпер А.М., Кириллов-Угрюмов В.Г. и др.* Короткопериодические пульсации атмосферных гамма-квантов // Природа. 1977. № 4. С. 136.

ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

А.В. Авраменко, аспирант;
А.И. Гринченко, И.О. Архипов, студенты 4-го курса РКФ
ТУСУР, г. Томск, stalker@main.tusur.ru

В настоящее время актуален вопрос уточнения остатков, выработанных богатых крупных месторождений нефти, природного газа, драгоценных металлов и других природных ископаемых.

Границы месторождений природных ископаемых создают неоднородности плотности пород (а значит, гравитации), химические и физические особенности на поверхности земли и представляют собой геофизические аномалии.

В основу предлагаемого прибора положен следующий метод [1, 2]. Над прибором, находящимся на поверхности Земли и направленным в зенит, находится столб атмосферы определенной высоты. Высота столба зависит от силы гравитации Земли в данном месте. Космические лучи, пронизывая атмосферу, рождают ливень вторичных частиц. Наиболее проникающие из них (высокоэнергетичные атмосферные γ-кванты) доходят до поверхности Земли и могут быть зарегистрированы нашим прибором. Если перенести прибор в другое место с более плотной породой (места скальных выходов), то, очевидно, что результирующая величина силы гравитации увеличится. Изменение величины силы гравитации приведет к изменению эффективной высоты атмосферы и потока вторичных γ-квантов. Таким образом, интенсивность потоков вторичных атмосферных γ-квантов будет пропорциональна толщине атмосферы [1], а значит, в конечном итоге – плотности залегающих под землей пород. На этом принципе и основывается предлагаемый метод определения геофизических, геологических и экологических аномалий.

Однако на интенсивность потока вторичных гамма-квантов влияет и активность солнца. Поэтому исследование геофизических и экологических аномалий должно производиться с учетом солнечной активности на данный момент.

Для регистрации высокоэнергетичных атмосферных гамма-квантов (>20 МэВ) используется газоразрядный счетчик Гейгера–Мюллера, экранированный свинцовой фольгой. Свинцовый экран защищает датчик от γ-излучения окружающей среды. Датчик через интерфейс подсоединен к USB-порту ПК.

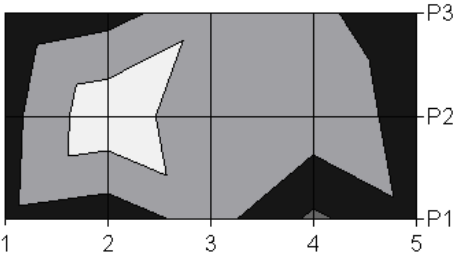
Исследование сводится к измерению количества атмосферных гамма-квантов, пролетевших через единичную площадь за единицу времени. Таким образом, мы можем судить об относительном изменении силы

гравитации в конкретном месте. По этому принципу на данной местности строится воображаемая сетка с определенным шагом, покрывающая исследуемую площадь. В ее узлах производятся измерения с одинаковой для всех узлов длительностью.

Метод подразумевает использование мобильного счетно-вычислительного устройства с возможностью отображения таблиц и графиков. В данном приборе используется мобильный персональный компьютер Acer.

Для учета влияния солнечной активности на измерения необходим второй датчик, находящийся в некоторой базовой точке.

Данный прибор обладает хорошей чувствительностью и высоким разрешением. На рисунке в качестве примера приведены результаты исследования распределения плотности потока атмосферных γ-квантов в одной из аудиторий главного корпуса (более светлый тон соответствует большей силе гравитации).



Гравитационный рельеф аудитории 425 главного корпуса ТУСУР

Литература

1. *Гальпер А.М., Лейков Н.Г., Лучков Б.И.* Гамма-излучение и волны плавучести в атмосфере / / Природа. 1981. № 6. С. 14–21.
2. *Еханин С.Г., Косточко С.В., Лобанов Н.В.* Метод поиска геофизических, геологических и экологических аномалий // Современные проблемы физики и технологии: Тез. докл. на Второй школе-семинаре молодых ученых. Томск, СФТИ, 5–7 февраля 2001 г.

АППАРАТЫ СВЕТОТЕРАПИИ

Е.В. Бугров, аспирант; А.А. Бомбизов, сотрудник
ТУСУР, г. Томск, Bugrov@sibmail.com

Введение

Мозг человека – великое создание природы, сложнейший инструмент для решения жизненных задач. В головном мозге сотрудничают миллиарды нервных клеток, создавая еще большее количество нервных связей. Познание законов функционирования мозга стало вызовом, который человек бросил природе, чтобы доказать свою человеческую сущность. Как же можно поймать и осознать реально существующие, но бы-

стротечные и бестелесные психические функции, вроде эмоций, образов, мысленных конструкций?

К радости психофизиологов, в основе психических состояний оказался заложен вполне материальный носитель – разность электрических потенциалов по обе стороны клеточной мембраны (достигающая 70–80 мВ). Распространяющиеся по отросткам нервных клеток кратковременные сдвиги мембранного потенциала или нервные импульсы можно зарегистрировать с помощью обычных вольтметров, снабженных каскадом предварительного усиления электрического сигнала.

Около 80 лет назад технология регистрации электрических потенциалов мозга непосредственно с кожной поверхности головы человека была продемонстрирована немецким психиатром **Гансом Бергром** (Hans Berger). Этот метод получил название электроэнцефалографии (ЭЭГ), и в настоящее время ни одно неврологическое отделение в больницах, ни одна поликлиника соответствующего профиля не обходится без лаборатории электроэнцефалографии.

Мозг обрабатывает нейрохимическую информацию и выдает электрические сигналы, как множество электрохимических цепей, замыкающихся и размыкающихся миллионы раз в секунду. Электроэнцефалограф определяет и записывает суммарные изменения напряжения, происходящие в мозге. Эти электрические сигналы следуют в определенных ритмах, условно разделенных на четыре диапазона частот, характерных для биоэлектрической активности головного мозга. Каждому диапазону, при условии, что он доминирует на ЭЭГ, соответствует свое состояние сознания.

Бета-волны. Их частота варьируется от 12 до 42 Гц.

Бета-активность головного мозга выражена на ЭЭГ, когда человек находится в активном бодрствующем состоянии, сосредоточен на окружающем, решает интеллектуальные задачи.

Недостаток бета-волн может быть связан с апатичным компонентом депрессии, снижением интеллектуально-мнестических функций. Стимуляция мозга в бета-диапазоне позволяет повысить жизненный тонус, усилить функцию внимания и кратковременную память.

Высокая Бета (выше 18 Гц) характеризует состояния настороженности, волнения, отражает интенсивную умственную деятельность, например решение математических задач, стратегическое планирование. Стимулирование в этом диапазоне может повысить внимание, общую активность, но одновременно усилить тревожный компонент.

Средняя Бета (15–18 Гц) соответствует размышлению, активному, но не взволнованному состоянию, осознанию внутреннего и внешнего мира. Стимулирование в этом диапазоне усиливает интеллектуальные способности.

Низкая Бета (12–15 Гц) соответствует ослабленному вниманию, творческому пониманию, модификации моторной активности (сенсомоторный диапазон – SMR).

Альфа-волны имеют частоту колебаний от 8 до 12Г ц.

Альфа-активность возникает только при закрытых глазах в момент пассивного расслабления без фокусировки мыслей. Доминирование альфа диапазона характерно для спокойного, умиротворенного, безмятежного состояния. Недостаток альфа-активности является показателем стресса, эмоциональной перегрузки, тревожного компонента депрессии.

Подполоса низкая альфа (8–10 Гц) связана с интернальным вниманием, интеграцией, ощущением внутреннего равновесия.

Подполоса высокая альфа (10–12 Гц) связана с состоянием безмятежности, эмоциональной релаксации и восстановления, чувственно-образным рядом мышления.

Тета-волны имеют частоту колебаний от 4 до 7 Гц.

Тета-активность сопровождается появлением сонливости, снижением мышечного напряжения, появлением ярких образов. Являясь промежуточным состоянием между сном и бодрствованием, тета-состояние открывает доступ к бессознательному, появлению гипнологических эффектов. Стимуляция в тета-диапазоне усиливает творческие способности, снимает эмоциональную зацикленность, способствует выработке бета-эндор-финов, создает аналгетический эффект.

Дельта-волны имеют частоту от 0,1 до 4 Гц.

При доминировании дельта волн человек находится в глубоком сонном состоянии, полной релаксации. В это время мозг выделяет больше всего гормона роста, а в организме происходят процессы самовосстановления.

Понимание связи между ритмикой волн биоэлектрической активности мозга и состояниями сознания поставило задачу научиться влиять на эти состояния материалистическими способами. Неоценимую помощь в этом оказал исследователь **Грей Уолтер**(Gray Walter) обнаруживший в 1940 г., что волны на ЭЭГ могут повторять частоту мерцающего света, особенно если она попадает в диапазон альфа- или тета-частот. Этот эффект стал известен как **реакция усвоения или реакция следования**.

Наверное, каждому знакомо приятное состояние умиротворения и расслабления, возникающее при созерцании горящих свечей в полумраке. Между тем, частота мерцания пламени свечи как раз попадает в диапазон альфа- и тета-ритмов.

Подобное воздействие оказывает и пульсирующий звук, параметры которого модулированы по соответствующей частоте, и выведены как бинауральные биения. Бинауральная пульсация возникает в результате подачи на каждое ухо звука чистого тона, слегка отличающегося по высоте. Тогда мозг выделяет различия между звуками, получаемыми с левого и правого уха, и это воспринимается как приятный, мягко пульсирующий ритм.

Электрическая активность мозга

С помощью электродов, размещенных на поверхности головы или введенных в вещество мозга, можно зафиксировать электрическую активность мозга, обусловленную разрядами его клеток. Запись электрической активности мозга с помощью электродов на поверхности головы называется электроэнцефалограммой (ЭЭГ). Она не позволяет записать разряд отдельного нейрона. Только в результате синхронизированной активности тысяч или миллионов нейронов появляются заметные колебания (волны) на записываемой кривой.

При постоянной регистрации на ЭЭГ выявляются циклические изменения, отражающие общий уровень активности индивида. В состоянии активного бодрствования ЭЭГ фиксирует низкоамплитудные неритмичные бета-волны. В состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами преобладают альфа-волны частотой 7–12 циклов в секунду. О наступлении сна свидетельствует появление высокоамплитудных медленных волн (дельта-волн). В периоды сна со сновидениями на ЭЭГ вновь появляются бета-волны, и на основании ЭЭГ может создаться ложное впечатление, что человек бодрствует (отсюда термин «парадоксальный сон»). Сновидения часто сопровождаются быстрыми движениями глаз (при закрытых веках). Поэтому сон со сновидениями называют также сном с быстрыми движениями глаз. ЭЭГ позволяет диагностировать некоторые заболевания мозга, в частности эпилепсию.

Если регистрировать электрическую активность мозга во время действия определенного стимула (зрительного, слухового или тактильного), то можно выявить так называемые вызванные потенциалы – синхронные разряды определенной группы нейронов, возникающие в ответ на специфический внешний стимул. Исследование вызванных потенциалов позволило уточнить локализацию мозговых функций, в частности связать функцию речи с определенными зонами височной и лобной долей. Это исследование помогает также оценить состояние сенсорных систем у больных с нарушением чувствительности.

История создания аудиовизуального стимулятора переменной частоты

Еще со времени открытия человеком огня известно его пульсирующее воздействие на людей, проявляющееся в возникновении мистических визуальных галлюцинаций и изменении сознания. Этим важным феноменом с успехом многие тысячелетия пользовались жрецы, шаманы, художники и артисты. Наука также интересовалась этим явлением. В 125-м г. н.э. Апулей экспериментировал со световыми импульсами, производимыми вращением гончарного круга. Около 200-го г. н.э. Птолемей открыл, что солнечные лучи, проходя вращающиеся спицы колеса и достигающие глаз наблюдателя, вызывают состояние эйфории.

В XVII в. бельгийский ученый Платье с помощью устройства для создания пульсирующего света – тахистоскопа, изучал явление слияния световых вспышек. Кроме того, им было замечено, что, находясь в медитативном состоянии, человек может различать дискретные быстрые вспышки тогда, как для обычного наблюдателя они сливаются в одну линию. В конце прошлого столетия французский физиолог Пьер Жанэ указывал, что при стимуляции световыми импульсами истеричных пациентов парижского госпиталя Салпетриер, в состоянии возникающей релаксации у них уменьшалась истерия.

Современная наука вплотную приступила к изучению воздействия пульсирующего света начиная с середины 30-х годов, когда было сделано открытие резонанса электрических волн головного мозга и внешних световых импульсов, так называемое «путешествие в вагоне поезда». Не менее важным в конце 40-х годов явилось открытие «фликер-феномена» английским ученым-нейрологом Греем Уолтером, который использовал электроэнцефалограф и световой генератор. Суть его заключалась в том, что под воздействием быстропульсирующего света наступал баланс электрической активности коры головного мозга, также проявляющийся в наступлении состояния транса и релаксации, возникновении ментальных образов. При этом преодолевались барьеры в координации различных отделов мозга.

Совместно с американским писателем-новеллистом Уильямом Буррогом они сконструировали простое свето-пульсирующее устройство, названное ими впоследствии «Машина Грез» («Dream Machine»). Сложное пространственное чередование световых фигур и шаров, образов, как в мистицизме Востока – Мандале, порождало поистине драматические сцены грез и сновидений в сознании наблюдателя. Впоследствии, в 1960–1970-х гг. учеными было установлено, что под воздействием определенных частот световых импульсов увеличивался так называемый показатель «Ай-кью» (коэффициент интеллектуальности), характеризующий степень согласованности взаимодействия полушарий головного мозга. И, наконец, во Франции, начиная с 1945 г. и на протяжении последующих тридцати лет, доктор Лефебюр использовал повторяющиеся последовательности световых импульсов в психофизиотерапии и педагогике. Это так называемое явление фосфенизма, характеризующееся восприятием световых образов, видимых не глазом, а порожденных самим мозгом.

Аппараты

На основе выше сказанного, разрабатываются различные аппараты светотерапии, с помощью которых возможно стимулирование психоэмоционального состояния организма человека.

Автономный аппарат психоэмоциональной коррекции

Структурная схема автономного аппарата психоэмоциональной коррекции приведена на рис. 1:

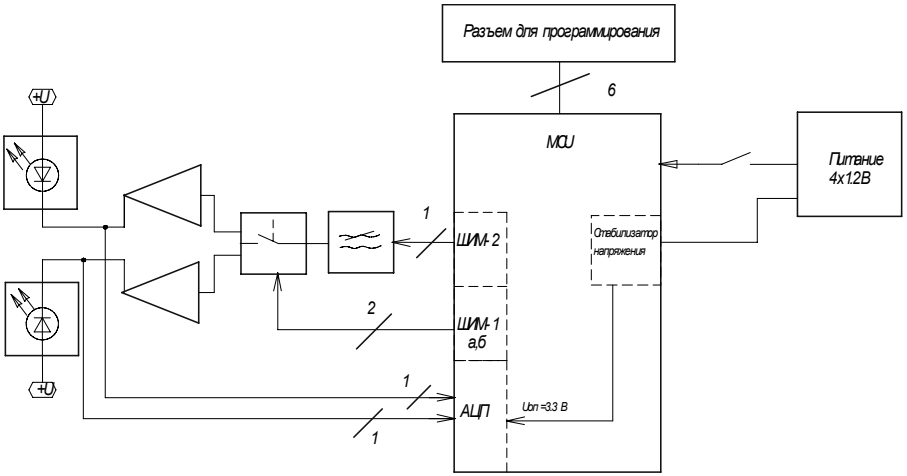


Рис. 1. Структурная схема автономного аппарата психоэмоциональной коррекции (АПЭК-2)

Ядром устройства является микроконтроллер ATmega8L фирмы Atmel. Его задачей является обработка данных заложенных при программировании, широтно-импульсная модуляция цифровых данных и переключение активного (излучающего) светодиода. ШИМ – сигналы, сформированные 16-разрядным ШИМ-2 таймером, поступают на фильтр низкой частоты, который производит сглаживание импульсов, тем самым формируя результирующую огибающую сигнала. Усиленные транзисторными усилителями сигналы поступают на соответствующие светодиоды. Усилители коммутируются микроконтроллером посредством ШИМ-1 таймера, настроенного на частоту 9,2 Гц и длительность 2 мс.

Устройство питается от четырех аккумуляторов Д-0,03НВ с общим напряжением 4,8 В. Микроконтроллер осуществляет понижение питающего напряжения до 3,3 В, которое будет выступать как опорное.

Аппараты-аналоги

Также разработкой аппаратов светотерапии занимаются и многие корейские фирмы. В основу функционирования таких аппаратов заложено дополнительно воздействие при помощи аудиосигналов. В частности в таких аппаратах используется обычная звуковая дорожка с расслабляющей музыкой.

В качестве аналогов можно привести приборы, с помощью светового излучения которых можно воздействовать на кожные покровы. В частности Биоптрон-2».

Регулярное воздействие света «Биоптрон» на кожу активирует процессы регенерации основных белков коллагена и эластина, ответственных за упругость и эластичность кожи; увеличивает способность связывать воду за счет активации синтеза компонентов, ответственных за увлажненность кожи, например, собственной гиалуроновой кислоты; защищает от воздействия свободных радикалов; предотвращает преждевременное появление морщин, препятствуя свободно радикальному соединению коллагена и эластина с более глубоко расположенными протеинами; улучшает снабжение кожи кислородом, питательными веществами за счет нормализации функции мембран клеток, тканевого дыхания, усиления микроциркуляции; способствует выведению шлаков и токсинов; повышает эластичность, упругость, улучшает цвет, текстуру, нормализует pH кожи; делает менее заметными морщины и поры; придает коже комфортное ощущение «ухоженности» и здоровый внешний вид. Регулярное воздействие на кожу «Биоптроном» по эффективности воздействия равноценно интенсивному массажу.

Литература

1. *Биологический* энциклопедический словарь / Гл. ред. М.С. Гиляров; Редкол.: А.А. Баев, Г.Г. Винберг, Г.А. Заварзин и др. М.: Советская энциклопедия, 1986. 831 с.

2. *Беббит Э.Д.* Принципы света и цвета. Исцеляющая сила цвета. К.: Изд-во София, 1996.

3. *Гойденко В.С., Лугова А.М., Зверев В.А.* Цветоимпульсная терапия заболеваний внутренних органов, неврозов и глазных болезней: Уч. пособие. М.: 1996.

4. *Техническое* описание и инструкция по эксплуатации микроконтроллера ATmega8L. ATmega8.pdf .

5. *Микроконтроллеры* AVR: От простого к сложному / М.С. Голубцов. М.: СОЛОН-Пресс, 2003, 288 с.

6. *Микроконтроллеры* AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL. М.: Издательский дом Додэка – XXI, 2004. 560 с.

7. http://bioptron.narod.ru/bio-2.htm Интернет-ресурс.

8. http://Аудио-визуальная стимуляции в нейропсихологии.htm Интернет-ресурс.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ МЕТОДОМ ШНОЛЯ

В.А. Молошников, аспирант;
А.А. Манжос, Е.В. Казак, Е.К. Интемиров, студенты
ТУСУР, г. Томск, stalker@main.tusur.ru

Поисками механизма связи между болезнями и смертями людей, изменением параметров крови, активностью микроорганизмов, с одной стороны, и физическими процессами на Солнце (и на Земле) – с другой, занимались многие замечательные исследователи, начиная с А.Л. Чижевского [1]. В основном это были случаи инфаркта миокарда и инсульта у лиц пожилого возраста. Ряд исследователей склонялись и склоняются к выводу, что действующий агент в этих явлениях имеет неэлектромагнитную природу. Поскольку, используя то, что нам известно о солнечном и космическом излучении, не удавалось объяснить эффекта их воздействия на биологические процессы, А.Л. Чижевский выдвигает гипотезу о существовании особого *Z*-излучения, возникающего в глубинных слоях Солнца и ответственного за усиление функциональной активности биосферы [1, 2]. Земля находится на относительно небольшом расстоянии от Солнца, т.е. находится в зоне «ближнего влияния» солнечной короны. Таким образом, все изменения на солнце будут влиять на окружающее пространство, особенно в зоне «ближнего влияния», изменяя характеристики этого пространства [3, 4].

Известный ученый С.Э. Шноль [3] обнаружил, что под действием солнечных осцилляций происходит изменение активности ферментов, скорости химических реакций и даже внутриядерных процессов.

Из вышесказанного следует, что Z-излучение влияет на флуктуации ядерных реакций. Поэтому, используя радиоактивное вещество можно регистрировать Z-излучение и определять его интенсивность.

Описание метода

Суть метода измерения состоит в непрерывном статистическом анализе данных, получаемых с радиометрических датчиков. Сбор данных проводится от помещенного непосредственно возле датчика радиоактивного вещества. В экспериментах С.Э. Шноля используется радиоактивное вещество плутоний (238Pu).

В отличие от него, мы используем KCl (в котором присутствует радиоактивный изотоп K_{40}) и его достаточно легко приобрести.

Накопленные экспериментальные данные подвергаются различным методам анализа для выявления закономерностей. Анализ полученных временных рядов производится при помощи таких специализированных пакетов, как STATISTICA, Microsoft Excel и MathCAD.

Для построения гистограмм выбирается временной промежуток – окно, внутри которого будет анализироваться временной ряд (производиться выборка). Для повышения верности такого статистического анализа необходимо брать как можно больше значений, т.е. делать выборку значений (окно) как можно шире. Таким образом, снижается влияние сторонних однократных случайных воздействий.

Анализируя группы гистограмм, полученные при движении окна выборки по временному ряду, можно заметить четкую тенденцию появления, по сравнению со стандартным гауссовым распределением на них дополнительных мод с определенной цикличностью.

Описание датчика установки

Для исследования солнечной активности используется уже существующий датчик для биологической обратной связи (БОС) [5], способный определить уровень радиоактивного излучения и передать эту информацию на персональный компьютер. Основной частью любого датчика является чувствительный элемент. В нашем случае чувствительным элементом является газоразрядный счетчик Гейгера-Мюллера. Для работы счетчика необходимо высокое напряжение. Поэтому в состав датчика входит модуль, повышающий напряжение до необходимой величины. Для этого используется повышающий преобразователь напряжения.

Импульс, формируемый в результате пробоя счетчика чрезвычайно короток по времени и не регистрируется портом компьютера. Поэтому

необходимо сформировать импульс достаточной длительности, чтобы он мог быть замечен компьютером. Для этого используем формирователь импульсов, который должен обеспечивать на своем выходе необходимую длительность импульса.

В конструкции датчика проведены следующие изменения. Трубка газоразрядного счетчика обматывается несколькими слоями ткани, пропитанной насыщенным раствором KCl. После высушивания датчик помещается в свинцовый экран, который защищает датчик от внешнего радиоактивного излучения, а пользователя от радиоактивного излучения датчика.

Доработка датчика для увеличения точности измерений

Для исключения внешних и внутренних импульсных помех [6, 7] введены следующие коррективы: подключена большая емкость в удвоитель напряжения и питание датчика осуществляется от аккумулятора.

Следует учитывать и появление температурных градиентов во время проведения эксперимента (за несколько часов эксперимента может выглянуть солнце и нагреть датчик, или измениться температура в помещении). Поэтому нами существенно доработана схема термостабилизации блокинг-генератора источника высоковольтного питания (400В) для датчика.

Кроме того, как указано в [7–9] дополнительные причины колебательности гистограмм могут быть связаны также с малой выборкой и с дискретностью измерений.

В данном случае, по сравнению с исходным датчиком БОС, добавлено радиоактивное вещество, и выборка получается достаточно большой. Непрерывность измерения обеспечивается при значительном уменьшении времени T1 (подготовка измерения) по сравнению со временем T2 (временем измерения).

На данной установке выполнены первые измерения, полученные данные показывают перспективность данного метода исследования солнечной активности и высокую достоверность результатов.

Литература

1. *Чижевский А.Л.* Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1973. 350 с.

2. *Чижевский А.Л.* Космический пульс жизни: Земля в объятьях Солнца. Гелиотараксия. М.: Мысль, 1995. 768 с.

3. *Шноль С.Э., Панчелюга В.А.* Анизотропия пространства и формы гистограмм при измерениях процессов различной природы.
http://www.chronos.msu.ru/nameindex/shnol.html

4. *Пархомов А.Г., Макляев Е.Ф.* Исследование ритмов и флуктуаций при длительных измерениях радиоактивности, частоты кварцевых резонаторов, шума

полупроводников, температуры и атмосферного давления // Физическая мысль России. 2005. № 1.

5. *Молошников В.А., Саяпин Н.* Датчик бесконтактной биологической обратной связи // Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР – 2005», Томск, 26–27 апреля 2005 г. Томск: Изд. ТУСУР. С. 171.

6. *Иванченко Ю.Г.* «Эффект Шноля» – мифы и реальность. Источник: http://www.SciTecLibrary.ru

7. *Иванченко Ю.Г.* К вопросу о макроскопических флуктуациях при измерении радиоактивности // Биофизика. 1989. Т. 34. Вып. 4.

8. *Векшин Н.Л.* Комментарий к ответу С.Э. Шноля // Биофизика, 1990. Т. 35. Вып. 1.

9. *Грановский В.А., Сирая Т.Н.* Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. Ленинград: ЛГУ, 1990.

ПОДСЕКЦИЯ 4.2
КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Председатель – **Е.Н. Михеев,** м.н.с., начальник СКБ «Смена»*

МАКЕТ АВТОНОМНОГО СПЕКТРОАНАЛИЗАТОРА

А.А. Бомбизов, м.н.с. НИИ ЭТОСС; А.С. Губков, инженер НИИ ЭТОСС; А.Ф. Пустовойт, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.

При выполнении договорной работы в рамках ТУСУР ставилась задача наблюдения за состоянием электромагнитной обстановки в заданной среде. В рамках работы необходимо было создать автономный прибор, производящий съем и вычисление спектра сигнала, его анализ и сохранение на сменный носитель информации в реальном масштабе времени в течение суток. Полоса наблюдаемых частот составляла от 2 до 100 кГц.

Для решения данной задачи было проведено предварительное макетирование. Оцифровка проходила на пониженной частоте, которая составила 48 кГц. За основу была взята отладочная плата EZ-LITE KIT фирмы Analog Devices на базе цифрового сигнального процессора (**ЦСП**) ADSP-BF537 [1, 2] с тактовой частотой 500 МГц. ЦСП работает под управлением операционной системы (**ОС**) uCLinux [3].

На рис. 1 изображена структурная схема экспериментальной установки, состоящая из трех основных блоков. Входной тракт (блок 1) выполняет фильтрацию сигнала активным полосно-пропускающим фильтром (ППФ). Затем сигнал усиливается или ослабляется посредством усилителя с управляемым коэффициентом усиления (КУ). Выбор усилителя с управляемым КУ обусловлен необходимостью калибровки прибора для получения нужной точности измерения. Обработанный сигнал поступает на АЦП с разрядностью 14 бит и верхней частотой дискретизации 48 кГц.

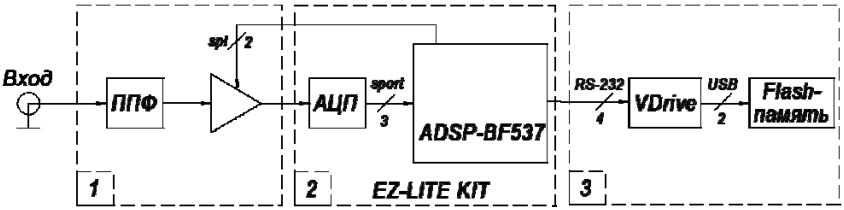


Рис. 1. Структурная схема установки

В ходе выполнения макетирования было разработано программное обеспечение (ПО) для съема, обработки и сохранения информации. Проведен тест скорости выполнения быстрого преобразования Фурье (БПФ). Для выполнения целочисленного БПФ массива из 1024 отсчета ЦСП расходовал времени порядка 0,3 мс. Для сравнения было взято БПФ (тип данных с плавающей точкой), такого же по размеру массива на процессоре Core Duo 2 (использовалось только одно ядро на частоте 1,8 ГГц), результат составил порядка 20 мс.

Результат обработки оцифрованных сигналов помещается во флеш-память посредством специализированного модуля VDrive фирмы FTDI [4] на базе микроконтроллера VNC1L. VDrive адаптирован для применения в достаточно быстрых решениях, но имеет при этом свои недостатки. К отладочной плате модуль подключался посредством интерфейса RS-232. Для корректной работы модуля необходима поддержка аппаратного управления потоком. Эта необходимость обусловлена тем, что VNC1L имеет малый FIFO буфер и при высокой скорости работы требует приостановку передачи для освобождения внутреннего буфера. Максимальная достигнутая скорость записи была 1 мегабит в секунду при документированных 3 мегабитах в секунду [4].

Был проведен эксперимент, состоящий из трех этапов. На первом этапе на вход макета подавался гармонический сигнал амплитудой 1 В, частотой 4 кГц. Сигнал оцифровывался, результаты оцифровки сохранялись на флеш. На рис. 2 приведена форма измеренного сигнала.

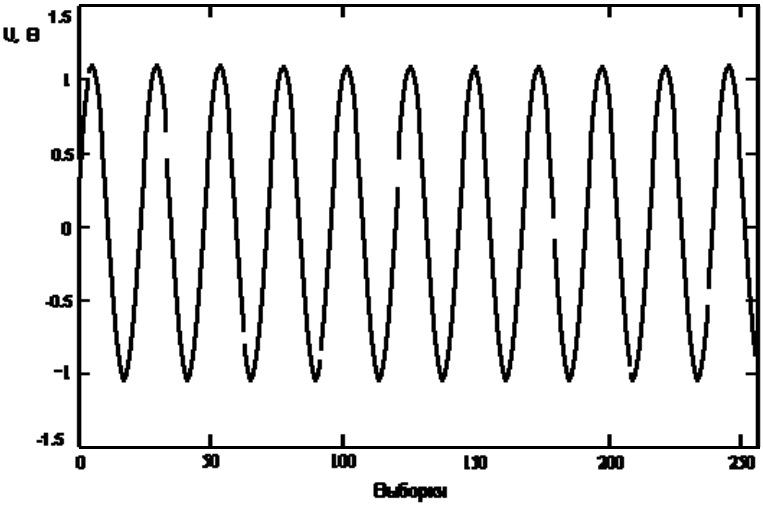


Рис. 2. Результат прямой оцифровки

На втором этапе для входного сигнала выполнялось оконное преобразование Фурье (ОПФ). Для проведения ОПФ использовалось прямоугольное окно шириной 21 мс. Результат ОПФ (амплитудный спектр) сохранялся на флеш-носитель. На рис. 3 приведен спектр измеренного сигнала.

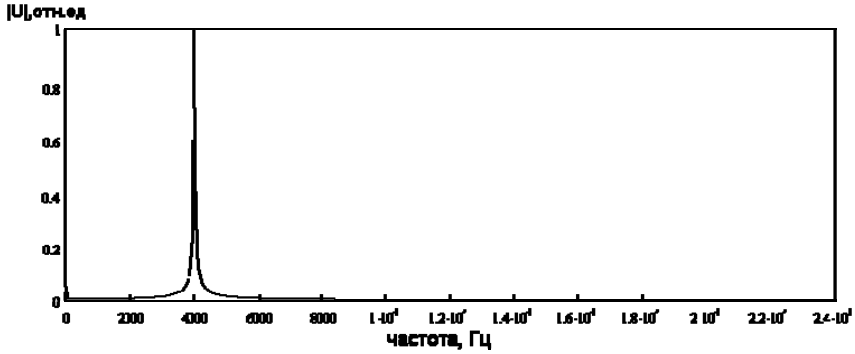


Рис. 3. Результат ОПФ

Третья часть эксперимента заключалась в непрерывной оцифровке входного сигнала, вычислении его спектра и сохранении на съемный носитель втечение продолжительного временного интервала. Измерения

происходили на протяжении суток, необходимый объем памяти составил 4 Гб.

Литература

1. ADSP-BF537 Blackfin Processor HardwareReference
2. ADSP-BF537 EZ-KIT Lite Evaluation System Manual
3. http://docs.blackfin.uclinux.org
4. http://www.vinculum.com

ПОЛЕВОЙ АВТОНОМНЫЙ РЕГИСТРАТОР ДЛЯ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ШАХТ

А.А. Беспалько*, П.И. Федотов*, Н.Н. Хорсов*,
А.А. Бомбизов, А.Г. Лощилов, Н.Д. Малютин, А.Ф. Пустовойт
**Томский политехнический университет,*
Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Разработка месторождений полезных ископаемых шахтным способом сопровождается изменениями напряженно-деформированного состояния (НДС) массивов горных пород. Развитие процесса изменения НДС массива обусловлено применением технологий разработки, свойствами рудных тел, вмещающих пород и влечет за собой снижение безопасности самих горных работ, окружающих промышленных, жилых и природных объектов [1]. Электромагнитная эмиссия (ЭМЭ) является одним из информационных каналов, позволяющих проводить оценку изменений НДС массивов горных пород. Изменения механических свойств горных пород в результате действия механических напряжений приводит к возникновению или активизации источников электромагнитных сигналов (ЭМС). При этом возникают и акустические эффекты, которые могут быть результатом геодинамических событий или результатом проведения буровых и взрывных работ в процессе эксплуатации месторождения, а также в результате возникновения и роста трещин. Колебание акустическими волнами границ неоднородностей и контактов разных пород и минералов, в которых сформированы или формируются двойные электрические слои, сопровождается электромагнитной эмиссией [2]. В Томском политехническом университете ведутся работы по разработке аппаратно-программной системы контроля и прогноза геодинамических событий в шахтных условиях. Исследования механоэлектрических преобразований для этих целей проводится на лабораторных

установках и в условиях Таштагольской железорудной шахты. В этой шахте в результате глубинных технологических взрывов в рудном теле с энергией от 10^3–10^9 Дж происходят существенные изменения НДС массива горных пород, которые являются исключительно благоприятным объектом для разрабатываемой системы.

Основываясь на многолетних исследованиях в условиях шахты связи изменений НДС и ЭМЭ, последовательностей акустических сигналов (АС), проводимых с помощью разработанного в ТПУ комплекса для исследования НДС горных пород в условиях шахт [3], разработали и создали регистратор электромагнитных и акустических сигналов нового поколения. Промышленных аналогов таких автономных устройств в настоящее время не существует. Этот регистратор должен вписываться в единую информационную аппаратно-программную систему контроля геодинамических событий. Регистраторы должны быть оснащены соответствующими датчиками и согласующими входными устройствами, обеспечивающими уверенный прием ЭМС в диапазоне частот от 1,0–100,0 кГц с чувствительностью от 2 мкВ, а также АС в том же диапазоне частот с чувствительностью от 5 мВ. Регистратор должен обеспечивать быстрое преобразование Фурье на заданных отрезках времени и записывать в сменную память результаты амплитудно-частотного анализа на выбранных частотах. При разработке регистратора должны быть предусмотрены достаточная внешняя память для записи заданной информации, быстрая ее замена, а также передача информации на расстояния не менее одного километра. Приборы должны быть обеспечены сервисными программами, кроме того, быть пылевлагонепроницаемы и взрывобезопасны, иметь минимальные размеры и малое потребление энергии, так как будут работать в полевых условиях, в угольных и рудных шахтах. Потребление энергии должно быть не более 12 амперчасов за 7–10 суток.

Исходя из вышеизложенных требований, был предложен алгоритм регистратора, который приведен на рис. 1. Первоначально происходит регистрация электромагнитного и акустического сигналов соответствующими датчиками. Затем производится первичная обработка сигналов, чтобы исключить сопутствующие измерению помехи и ограничить полосы частот сигналов до вышетребуемых. После первичной обработки сигналы оцифровываются аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и сохраняются в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ). Блок цифровой обработки осуществляет поблочное чтение цифровых сигналов из ОЗУ и производит быстрое преобразование Фурье. Затем определяются значения спектральной плотности мощности (СПМ) на заданных частотах для обоих типов сигнала. После чего результаты вычислений сохраняются в

постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) и передаются по цифровой линии связи на центральный пульт управления, которым может быть персональный компьютер (ПК) диспетчера. Весь процесс происходит в непрерывном цикле. Выбор контрольных частот (2, 5, 100 кГц и др.) и другие настройки производятся на пульте, расположенном на корпусе блока.

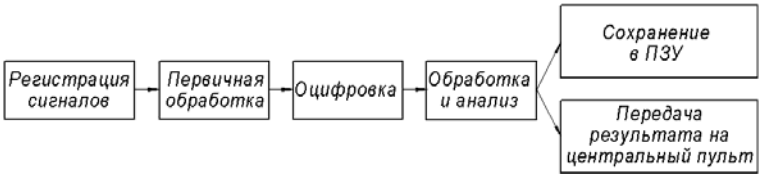


Рис. 1. Алгоритм системы мониторинга

На рис. 2 изображена структурная схема макета регистратора для мониторинга электромагнитных и акустических сигналов.

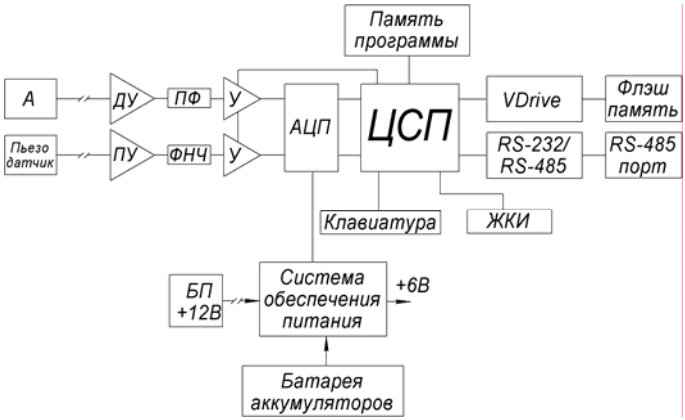


Рис. 2. Структурная схема регистратора для мониторинга ЭМС и АС

Электромагнитный сигнал поступает на индукционные или емкостные датчики *А*, а акустические колебания – на пьезоакустический приемник. Дифференциальный усилитель (*ДУ*), чувствительность которого не менее 50 мкВ, осуществляет вычитание синфазной помехи, наведенной на линию связи с датчиком. Затем электрический сигнал поступает на полосовой фильтр, с полосой частот 1,0–100,0 кГц и усиливается усилителем *У* с управляемым коэффициентом усиления (*КУ*). Управляемый КУ позволяет изменять чувствительность системы от 50 мкВ до 5 В.

Акустический сигнал усиливается предварительным усилителем (*ПУ*), отфильтровывается фильтром нижних частот (*ФНЧ*) и усиливается до необходимых значений. После предварительной обработки оба сигнала поступают на соответствующие каналы АЦП. Оцифрованные ЭМС и АС обрабатываются цифровым сигнальным процессором (*ЦСП*). Результат обработки оцифрованных сигналов посредством специализированного модуля VDrive помещается во флэш-память. Кроме того, эти оцифрованные сигналы через преобразователь интерфейсов RS-232/RS-485 передаются в режиме реального времени по двухпроводной линии передачи к ПК диспетчера. Конфигурируется устройство посредством клавиатуры. Конфигурационное меню, текущее состояние системы и электромагнитной обстановки в шахте или руднике отображается на ЖКИ.

Система питания снабжена блоком питания (БП) для работы от сети, аккумулятором для работы в автономном режиме в течение семи дней и блоком стабилизации напряжения. Текущий уровень заряда батарей передается для контроля к ЦСП.

Таким образом, разработан макет регистратора электромагнитных и акустических сигналов, удовлетворяющий предъявленным требованиям для аппаратов, способных работать в единой системе мониторинга и прогноза геодинамических событий в условиях шахт. В дальнейшем будут продолжены работы по адаптации регистратора к шахтным условиям и проведены конструкционные доработки прибора применительно к пылевлагонепроницаемости и взрывобезопасности.

Работа выполняется при поддержке грантов РФФИ 06-08-00693_а и 06-08-96911р_офи.

Литература

1. *Указания* по безопасному ведению горных работ на месторождениях Горной Шории, склонных к горным ударам. Новокузнецк: ВостНИГРИ, ВНИМИ, 1991. 93 с.

2. *Беспалько А.А., Яворович Л.В., Гольд Р.М., Дацко Д.И.* Возбуждение электромагнитного излучения в слоистых горных породах при акустическом воздействии // ФТПРПИ. 2003. № 2. С. 8–14.

3. *Беспалько А.А., Суржиков А.П., Яворович Л.В.* Исследование механоэлектрических преобразований в горных породах при динамических воздействиях // Горный журнал. 2006. № 4. С. 32–34.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ УСИЛИТЕЛЯ С НЕЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Н.Н. Кривин, студент РКФ
ТУСУР, г. Томск

В моноимпульсной и поляризационной радиолокации вычисление отношения сигналов является очень важной задачей. Отношение двух ортогональных поляризационных составляющих принимаемого сигнала содержит в себе информацию об угле эллиптичности и азимуте эллипса поляризации, что в свою очередь хранит сведения о свойствах и характеристиках среды и объектов радиолокации (размер, форма). Чем точнее вычисляется поляризационное отношение, тем достовернее становится информация о характере цели [1]. Как правило, структурная схема вычислителя состоит из нескольких блоков: усилитель-ограничитель, полосовые фильтры, детекторы, сумматор и вычислитель экспоненты (рис. 1). Она работает следующим образом: Полезный сигнал поступает на вход усилителя-ограничителя (УО), который может быть выполнен по схеме логарифмического усилителя, обеспечивающего жесткое ограничение сигнала по ВЧ. С выхода УО ограниченный сигнал поступает на входы полосовых фильтров ПФ1 и ПФ2, фильтруется, детектируется и поступает на вход устройства, вычисляющего разность поступающих с детекторов напряжений. Устройством, вычисляющим разность напряжений, может быть усилитель НЧ или видеоусилитель, выполненный на операционном усилителе (ОУ) с инвертирующим и неинвертирующим входами. Вид сигнала на выходе сумматора представляет собой логарифм искомого отношения полезных сигналов, поступающих с детекторов. Чтобы получить отношение сигналов, необходимо над выходным сигналом осуществить операцию, обратную взятию логарифма. Это обеспечивает блок exp.

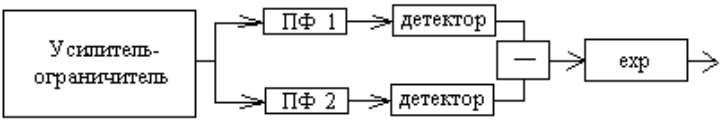


Рис. 1. Структурная схема логарифмического вычислителя отношения

Однако описанный способ вычисления является весьма громоздким. Таким образом, возникает проблема поиска нового метода вычисления отношения сигналов, в реализации которого была бы упрощена схема вычислителя, и проблема повышения надежности этой схемы.

Для ряда практических задач особый интерес представляет воздействие на амплитудный ограничитель двух сигналов с близкими частотами [2].

Пусть к усилителю-ограничителю подводится напряжение, представляющее собой сумму двух гармонических колебаний

$$e(t) = E_1 \cos\omega_1 t + E_2 \cos\omega_2 t,\ E_2 < E_1 . \qquad (1)$$

Каждое из этих напряжений, действуя отдельно, создает на выходе ограничителя простое гармоническое колебание с частотой ω_1 (или ω_2). Иная картина получается при одновременном воздействии на ограничитель двух гармонических напряжений.

Если принять $\omega_2 = \omega_1 + \Omega$, то, подставив это выражение в формулу для $e(t)$, получим

$$e(t) = E_1 \cos\omega_1 t + E_2 (\cos\omega_1 t \cdot \cos\Omega t - \sin\omega_1 t \cdot \sin\Omega t) =$$
$$= (E_1 + E_2 \cos\Omega t)\cos\omega_1 t - E_2 \sin\Omega t \sin\omega_1 t . \qquad (2)$$

Это выражение можно свернуть. Воспользовавшись правилом треугольника, получим следующее выражение:

$$e(t) = \sqrt{(E_1 + E_2 \cos\Omega t)^2 + E_2{}^2 \sin^2 \Omega t} \cdot \cos\left[\omega_1 t + \theta(t)\right] =$$
$$= E(t)\cos\left[\omega_1 t + \theta(t)\right], \qquad (3)$$

где $E(t)$ – огибающая результирующего напряжения, определяемая выражением

$$E(t) = E_1 \sqrt{1 + \left(2E_2 / E_1\right)\cos\Omega t + \left(E_2 / E_1\right)^2} , \qquad (4)$$

а фаза

$$\theta(t) = \mathrm{arctg}\frac{(E_2 / E_1)\sin\Omega t}{1 + (E_2 / E_1)\cos\Omega t} . \qquad (5)$$

Огибающая $E(t)$ имеет минимальное значение $E_1 - E_2$. Если допустить, что эта разность превышает какое-то пороговое значение, то условие ограничения выполняется для всех значений, которые может принимать амплитуда входного напряжения $E(t)$. Получается фазоманипулированное колебание, которое в отличие от входного напряжения может иметь широкий спектр.

При $E_2 / E_1 = m << 1$ выходное напряжение примет вид

$$u_{\text{вых}}(t) \approx U_0 \cos(\omega_1 t + m \cdot \sin\Omega t) . \qquad (6)$$

Заключаем, что ограничение амплитуды приводит к гармонической угловой модуляции с индексом $m = E_2 / E_1$.

Спектр выходного напряжения при $E_2/E_1 = m << 1$ состоит из трех составляющих с частотами ω_1, $\omega_1 + \Omega = \omega_2$ и $\omega_1 - \Omega = 2\omega_1 - \omega_2$. Первые две частоты присутствуют на входе ограничителя, а третья является продуктом взаимодействия входных колебаний в нелинейном элементе. Если теперь после усилителя-ограничителя поставить фильтр, который бы выделял третью частоту $\omega_1 - \Omega = 2\omega_1 - \omega_2$, то будет реализовано устройство, вычисляющее отношение сигналов E_2 и E_1.

Структурная схема такого устройства показана на рис. 2.

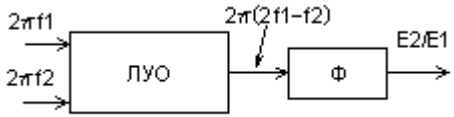


Рис. 2. Структурная схема вычислителя отношения сигналов на базе логарифмического усилителя-ограничителя (ЛУО)

Описанный выше метод использовался в нескольких экспериментальных макетных образцах радиолокационных станций.

В ходе данного исследования был теоретически выведен метод вычисления отношения сигналов на базе усилителя-ограничителя. Этот метод отличается от всех остальных методов своей простотой и легкостью схемотехнической реализации.

Литература

1. *Татаринов В.Н., Татаринов С.В., Лигтхарт Л.П.* Введение в современную теорию поляризации радиолокационных сигналов. Ч. 1. Томск, 2006.

2. *Гоноровский И.С., Демин М.П.* Радиотехнические цепи и сигналы. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1994. 480 с.

МИКРОПОЛОСКОВЫЕ РЕШЕТЧАТЫЕ СВЧ-ФИЛЬТРЫ ВЫСОКОЙ СЕЛЕКТИВНОСТИ

А.А. Ладур, студент каф. РЭТЭМ

ТУСУР, г. Томск, ladur@ms.tusur.ru

Представлены результаты исследования микрополосковых СВЧ-фильтров *L*-диапазона (1–2 ГГц). Фильтры с решетчатой топологией отличаются высокой селективностью (узкополосностью) при малом уровне потерь в полосе пропускания.

Для двухканальных радиометрических систем, как правило, требуется пара полосовых фильтров с близко расположенными полосами прозрачности. Для такой системы требовалось разработать фильтры с центральными частотами 1300 и 1420 МГц, шириной полосы 60 МГц, которые должны были обладать минимальными потерями в полосе пропускания и максимально крутым высокочастотным склоном АЧХ для первого фильтра и низкочастотным склоном АЧХ для второго с целью эффективного разделения каналов.

Предъявленным требованиям могут удовлетворить микрополосковые конструкции фильтров. Микрополосковый ППФ состоит из нескольких взаимодействующих резонаторов, причем один взаимодействует с подводящей линией, а еще один с выходной линией. Микрополосковые резонаторы могут быть связаны с линиями передачи несколькими способами: кондуктивный (автотрансформаторный), емкостным, индуктивным и комбинированным. Помимо связи между МПР и возбуждающей линией, надо рассмотреть и связь между микрополосковыми резонаторами. Взаимодействие *n* резонаторов приводит к появлению *n* связанных колебаний, характеризуемых соотношением амплитуд и разностями фаз колебаний. Взаимодействие двух резонаторов, имеющих одинаковые резонансные частоты, приводит к снятию вырождения этих частот. Равенство резонансных частот всех МПР является одним из условий оптимальной настройки АЧХ фильтра в полосе пропускания, вторым условием является правильно выбранные величины связи между резонаторами и с линией передачи. Величина связи от расстояния и области перекрытия между резонаторами.

Предварительный расчет при использовании Filtex-32 [2, 3] основан на теории длинных линий и проводится в квазистатическом приближении. При моделировании в MicroWave Office применяются подходы планарной электродинамики.

Для выполнения поставленной задачи рассматривалось несколько вариантов конструкции на связанных полуволновых линиях с различными вариантами продольного сдвига резонаторов и способом подключения.

Описанные в [3] свойства фильтров на связанных линиях позволили сразу выбрать оптимальную топологию, без дополнительного моделирования и обращения к другим источникам.

Для выполнения требований задания была выбрана конструкция четырехзвенного полосно-пропускающего фильтра на связанных линиях с диагональной емкостной связью микрополосковых резонаторов с линией передачи без сдвига внутренних резонаторов. Были получены следующие результаты моделирования (АЧХ на рис. 1, топология на рис. 2):

– центральная частота 1360 и 1420 МГц;
– ширина полосы 50 МГц;
– потери в полосе пропускания 2,8 дБ;
– потери на граничной частоте (1350 МГц) –34 дБ.

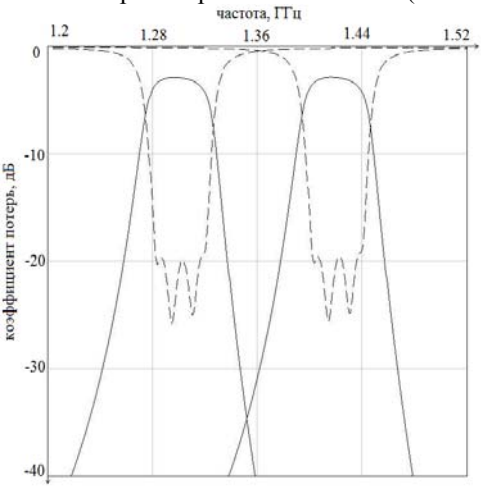


Рис. 1. Расчетные АЧХ ППФ

Рис. 2. Топология фильтров

При макетировании редко удается сразу получить требуемые характеристики, для этого производится настройка. Настроенный фильтр должен удовлетворять следующим условиям:

– совпадение центральной частоты с заданной;
– совпадение ширины полосы с заданной;
– удовлетворительный уровень средних значений минимума обратных потерь;
– равенство уровней минимумов обратных потерь.

Центральная частота настраивается путем регулирования длины резонаторов, причем длинна внешних резонаторов больше вследствие взаимодействия с линией передачи, емкостная связь с которой увеличивает резонансную частоту самих резонаторов.

Ширина полосы пропускания фильтра пропускания пропорциональна коэффициенту связи резонаторов. Для изменения коэффициента связи резонаторов, следовательно, и для изменения ширины полосы пропускания, варьируют зазором между внешними резонаторами и внутренними. Увеличение зазора приводит к уменьшению ширины полосы пропускания и наоборот. Менее чувствительно, что можно использовать для более тонкой настройки ширины, изменение ширины полос-

ковых проводников. Также влияние на ширину полосы пропускания оказывает и величина связи внешних резонаторов с линиями передачи.

Управлять средним значением минимума возможно изменяя связь МПР с линией передачи. Ослабление связи приводит к понижению, усиление приводит сначала к повышению, затем к уменьшению и исчезновению пиков обратных потерь.

Равенство уровней минимумов обратных потерь достигается подстройкой резонансных частот внутренних резонаторов и настройкой коэффициентов связи путем изменения зазора.

Измеренные характеристики фильтров (АЧХ на рис. 3):

– центральная частота 1300 МГц и 1420 МГц;

– ширина полосы 66 МГц;

– потери в полосе пропускания 2,9 дБ и 3.2 дБ соответственно;

– потери на частоте разделения 1352 МГц –25 дБ.

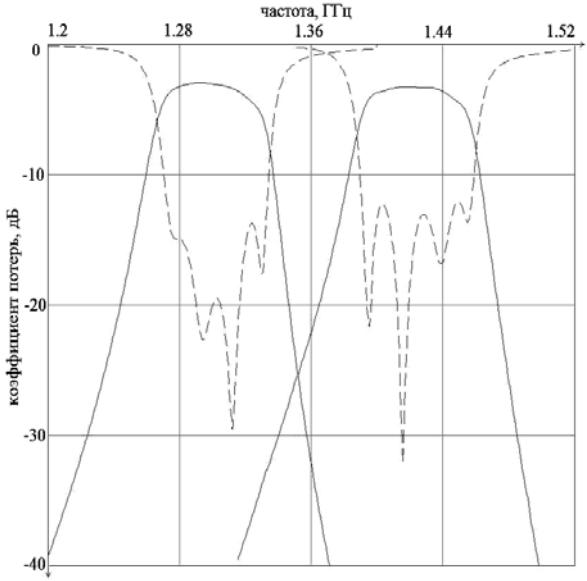


Рис. 3. АЧХ изловленных ППФ

При проектировании фильтра учитывалось то, что численные и экспериментальные характеристики систематически расходятся по центральной частоте на +10 МГц на каждый внутренний резонатор, что обусловило необходимость коррекции исходной топологии.

Изготовление фильтра с учетом последующей настройки фильтра предусматривает незначительное увеличение длины резонаторов для обеспечения более удобной настройки путем укорочения резонаторов,

что намного удобней наращивания длинны при промахе центральной частоты в стороны верхних частот.

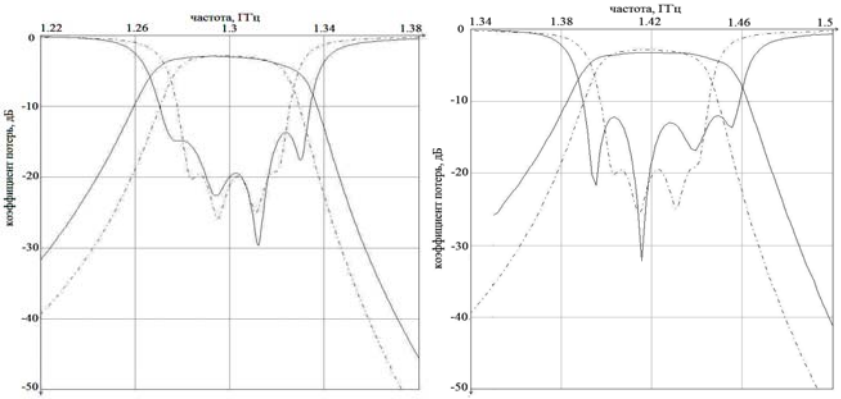


Рис. 4. АЧХ экспериментальные (сплошная) и расчетные (штрихпунктирная линия) данные фильтров

При учете расхождения теоретической модели и практической и внося коррективы. можно получить фильтры, близкие по характеристикам, что и было сделано.

Таким образом, использование коммерчески доступных САПР и предложенной методики настройки, позволило разработать микрополосковые фильтры, удовлетворяющие достаточно жестким техническим требованиям. Кроме того, представленные результаты могут быть использованы при разработке фильтров дуплексных систем связи.

Литература

1. *Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т.* Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т. 2. М.: Связь, 1972. 496 с.

2. *Беляев Б.А., Никитина М.И., Тюрнев В.В.* Экспертная система FILTEX для синтеза микрополосковых фильтров // Электронная техника. Сер. СВЧ-техника, 1999, Вып. 1 (473).

3. *Беляев Б.А., Казаков А.В., Никитина М.И., Тюрнев В.В.* Физические аспекты оптимальной настройки микрополосковых фильтров. Препринт № 768 Ф, Красноярск.ИФ СО РАН, 1996. 40 с.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОМЕТРА РМ1420

А.О. Мисюнас, студент 5-го курса каф. РЭТЭМ;
А.В. Убайчин, студент 3-го курса каф. РЗИ;
А.В. Филатов, д.т.н., проф. каф. ТОР,
ТУСУР, rn1985@sibmail.com

Создание на основе модифицированного метода нулевого приема портативных микроволновых радиометров для дистанционных исследований природных сред в натурных условиях с улучшенными метрологическими характеристиками, такими, как точность, стабильность, чувствительность. Приведена функциональная схема РМ1420 .

Введение

Важное место в дистанционных исследованиях различных природных сред занимает микроволновая радиометрия [1, 2], как один из методов изучения различных физических явлений, происходящих внутри объектов, путем проведения измерений электромагнитных колебаний в области микроволн, создаваемых собственным тепловым излучением этих объектов. Пассивное зондирование природных сред в натурных условиях требует применения малогабаритных переносных радиометров, способных стабильно работать в переменных климатических условиях, сохраняя при этом высокую точность.

На рис. 1 приведена функциональная схема двухканального микроволнового радиометра РМ1420 высокой чувствительности с усовершенствованным входным блоком [3, 4], позволяющая проводить дифференциальные измерения сигналов антенны в различных полосах приема при произвольном выборе диапазона измерения.

В состав РМ1420 входят три основных узла: входной блок, низкочастотный *НЧ* тракт, цифровой блок управления *ЦБУ* и антенна *А*.

Входной блок содержит *СВЧ* модулятор и два идентичных канала. СВЧ модулятор состоит из направленного ответвителя *НО*, к входам которого подключена антенна *А* и опорный канал подшумливания, содержащий управляемый генератор шума *ГШ* и ключ *К2*. В *НО* происходит суммирование сигналов: опорного сигнала *ГШ* и принятого антенной *А*. Согласованная нагрузка *СН* применяется для формирования второго опорного сигнала. Канал подшумливания предназначен для авторегулирования нулевого баланса при измерении сигналов антенны с низкой эффективной температурой шумов, выполнен на шумовом диоде, который питается от регулируемого источника тока по каналу *Noise_CTRL* цифрового блока управления. К входам модулятора высоких частот *МВЧ* подключены выходы *НО* и *СН*. На мультиплексор *MUX*

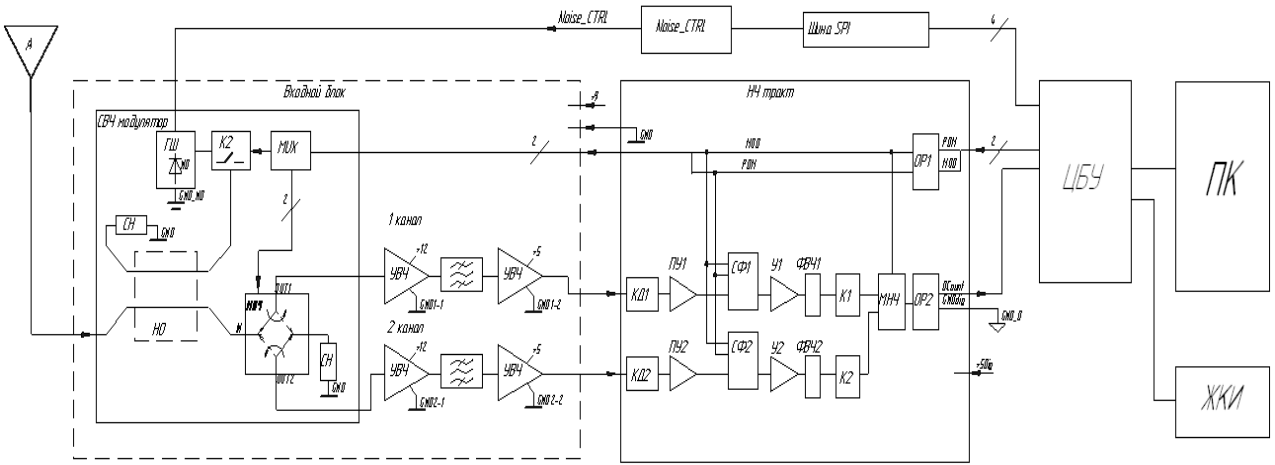


Рис. 1. Функциональная схема РМ1420

от *ЦБУ* через *НЧ* тракт поступают сигналы модуляции – управление ключом *К2* и модулятором *МВЧ*. В разные полупериоды амплитудно-импульсной модуляции *МВЧ* попеременно переключает входы *канала 1* и *канала 2*, на которые подаются суммированный сигнал, пришедший с *НО* (антенны *А* и опорного подшумливания), и сигнал сравнения, сформированный *СН*.

Для снижения погрешностей радиометра, возникающих при изменении температуры рабочей среды прибора, генератор шума и питающий его источник тока термостатируются и находятся при одинаковой температуре.

Два идентичных канала представляют собой цепь подключенных последовательно элементов: двух усилителей верхних частот *УВЧ* и включенного между ними полосно-пропускающего фильтра. Каждый *УВЧ* имеет свою шину питания для предотвращения помех в каналах.

НЧ тракт производит детектирование сигналов по квадратичному закону, усиление и является звеном, согласующим работу между приемным блоком и *ЦБУ*. С выходов каналов сигналы подаются на квадратичные детекторы *КД1* и *КД2,* огибающие сигналов усиливаются на предварительных усилителях *ПУ1*, *ПУ2* и затем поступают на низкочастотные синхронные фильтры *СФ1* и *СФ2*. Фильтры управляются сигналами *MOD* и *PDM ЦБУ* через оптронную развязку *ОР1*. После *СФ1* и *СФ2* сигналы усиливаются на *У1* и *У2*, на фильтрах верхних частот *ФВЧ1* и *ФВЧ2* исключается постоянная составляющая. Компараторы *К1* и *К2* определяют полярность сигналов. Модулятор низких частот *МНЧ*, который управляется сигналом *MOD ЦБУ*, попеременно пропускает сигналы *канала 1* и *канала 2* в полупериод прохождения сигнала *СН* на оптронную развязку *ОР2*. С выхода *ОР2* цифровой код, содержащий информацию об измерении, поступает в *ЦБУ* для накопления и дальнейшей математической обработки, после которой становится доступным пользователю результат измерения.

Постановка задачи

В рамках работ по созданию микроволнового радиометра РМ1420 [5] решается задача создания цифрового блока управления радиометра. Реализацию алгоритма работы *ЦБУ* по управлению измерениями, формированию управляющих сигналов модуляции, снятие и обработку полученных данных произведем на базе микроконтроллера Atmel семейства AT91. Задачу создания *ЦБУ* можно разделить на две:

1. Разработка и тестирование алгоритма работы РМ1420 на отладочной плате AT91SAM7S-EK фирмы Atmel.

2. Проектирование *ЦБУ* для РМ1420 на основе результатов, полученных в процессе синтеза алгоритмов на отладочной плате.

Синтез *ЦБУ* для многоканальной системы на базе блока управления для двухканальной системы, что позволит увеличить разрешающую способность без ущерба точности измерений.

Результаты разработки

В настоящие время при проектировании открываются огромные возможности. Это связано с появлением большого числа различных отладочных плат, которые позволяют создавать макеты будущих приборов при минимальных затратах на проектирование. Структурное моделирование прибора на основе отладочной платы позволяет выявить в процессе синтеза моменты, которые при математическом моделировании выражены неявно.

При создании макета PM1420 в качестве блока управления выбрана отладочная плата AT91SAM7S-EK фирмы Atmel на базе микроконтроллера AT91SAM7S. В основу микроконтроллера AT91SAM7S заложено 32-битное RISC ядро ARM7TDMI. Отличительными особенностями микроконтроллера является наличие встроенной высокоскоростной флэш-памяти (FLASH) и статической памяти (SRAM), большой набор периферийных узлов и модулей, включая порт USB2.0 для работы в режиме устройства, и полный набор системных функций, сокращающих число внешних компонентов [6].

Нами разработан алгоритм работы *ЦБУ* на плате AT91SAM7S-EK по синтезу сигналов управления амплитудно-импульсной и широтно-импульсной модуляциями, соответственно сигналы *MOD* и *PDM*. Критерии для синтеза импульсного сигнала *MOD*: период следования T_{MOD} = 1024 мс, скважность 2; сигнал *PDM* – период следования 1024 мс, изменение длительности импульса 0,128…512 мкс, дискрет изменения длительности импульса $\Delta t_{ШИС}$ 0,128 мкс. На рис. 2 приведены временные диаграммы управляющих сигналов модуляции. В первом полупериоде модуляции сигнала *MOD* к *каналу 1* подключена антенна *А*, к *каналу 2* – *СН*. Во втором полупериоде модуляции к *каналу 1* подключена согласованная нагрузка *СН*, к *каналу 2* – антенна *А*.

Требуемые задачи были реализованы на трех 16-разрядных таймерах-счетчиках *ТС*. Каждый *ТС* можно отдельно программировать для выполнения широкого диапазона функций, таких как генерация импульсов, формирование временных задержек, широтно-импульсная модуляция. Два *ТС* используются для генерации импульсов сигнала *MOD* амплитудно-импульсной модуляции, и *PDM* широтно-импульсной модуляции.

В первом полупериоде модуляции сигнала *MOD* происходит съем и анализ через приблизительно равные промежутки времени сигнала *канала 1*. Во втором полупериоде модуляции сигнала *MOD* происходит нако-

пление сигнала *канала 2* . Получение результата и принятие решения происходит по мажоритарному принципу, если полученный результат – единица, то $t_{ШИС1}$ уменьшается на один дискрет – $\Delta t_{ШИС}$, в противном случае, увеличивается. В следующих периодах модуляции вновь происходит накопление сигнала *канала 1*, но уже с измененным сигналом $t_{ШИС1}$ и аналогичным образом, описанным выше, происходит сравнение накопленных данных *канала 2* для принятия решения об изменении $t_{ШИС2}$. Таким образом регулировка длительности $t_{ШИС1}$ и $t_{ШИС2}$ – это регулировка длительности опорных сигналов для *канала 1* и *канала 2*, в этом и заключается принцип установления в радиометре нулевого баланса.

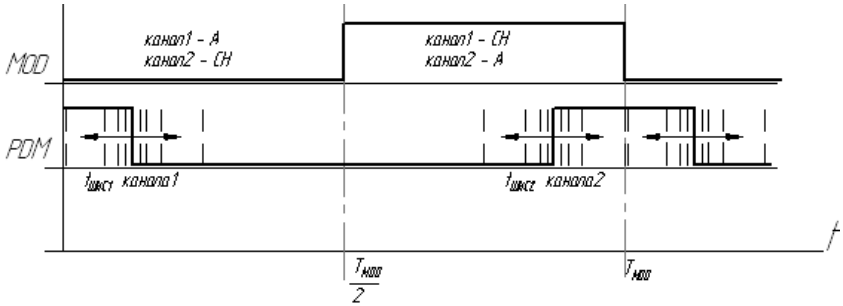


Рис. 2. Временные диаграммы управляющих сигналов модуляции

Описанный алгоритм автоматической регулировки поддерживает измерительную систему в нулевом балансе. В радиометре устанавливается равенство на входе приемника энергий сигналов в первом и втором полупериодах модуляции, которое отслеживается эквивалентным изменением длительности $\Delta t_{ШИС}$ при изменении сигнала антенны *А*. Условием установленного в радиометре нулевого баланса является равенство энергий сигналов, поступающих на вход приемника в разные полупериоды модуляции.

Заключение

Изложенный алгоритм лег в основу подпрограммы блока управления на отладочной плате и описывает принцип работы РМ1420. В настоящее время происходит тестирование макета РМ1420.

Литература

1. *Богородский В.В., Козлов А.И.* Микроволновая радиометрия земных покровов. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 272 с.

2. *Арманд Н.А., Воронков В.Н., Никитский В.П., Панченко В.А.* и др. Перспективы исследований в области дистанционного зондирования Земли и экологического мониторинга // Радиотехника и электроника. 1998. Т. 43. № 9. С. 1061–1069.

3. *Филатов А.В.* Нулевой микроволновый радиометр с дополнительной широтно-импульсной модуляцией опорного сигнала после детектора // Радиотехника и электроника. 2005. Т. 50, № 4. С. 504-512.

4. *Патент* 2211455 РФ, МПК[7] G01R 29/08, G01S 13/95. Радиометр / А.В. Филатов. 2003. Бюл. № 24.

5. *Положительное* решение по заявке №2003115658/09(016563) на выдачу Патента РФ от 02.06.2004 г. // Филатов А.В. Двухканальный нулевой радиометр. Приоритет от 26.05.2004 г.

6. *Курилин А.И.* 32-разрядные микроконтроллеры AT91SAM7S с интерфейсом USB производства компании Atmel // Компоненты и технологии. 2005. № 6.

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

К.А. Мутасов, студент РКФ

ТУСУР, г. Томск

Технический уровень авионики для современных самолетов является одним из ключевых факторов, определяющих безопасность полета, эффективность применения и, в целом, конкурентоспособность самолета [1]. Это стало особенно актуальным в последние годы в связи с постоянно растущими требованиями аэронавигации, предъявляемыми к самолетам на международных и отечественных авиалиниях. Совершенствование информационного обеспечения экипажа летательных аппаратов является важным звеном в повышении безопасности выполнения полетного задания и расширения возможностей применения авиационных комплексов.

Предполагается создание в рамках программы ИКБО-2005 единого информационно-управляющего пространства, объединяющего систему отображения информации, интерактивный «дружественный» человеко-машинный интерфейс и распределенную информационно-экспертную систему, обеспечивающего экипаж всей необходимой информацией и рекомендациями на всех этапах полета, предполетной подготовки послеполетного обслуживания.

Электронные дисплеи (ЭД), сопряженные с аналого-цифровыми устройствами, способными к анализу, синтезу и интеграции информации о параметрах полета, состоянии бортовых систем и оборудования, все шире используются в системах отображения информации летательных аппаратов [2]. Если до настоящего времени находили применение лишь комбинированные системы отображения информации, в которых, наряду с традиционными электромеханическими приборами, использовались отдельные ЭД, то на перспективных летательных аппаратах предполага-

ется оснастить кабину только ЭД. Ожидается, что единая система информации на многофункциональных дисплеях позволит успешно решить не только технические проблемы (в частности, обеспечить предъявление возрастающего объема информации от различных средств на ограниченной площади приборной доски), но и эргономические (оптимизировать условия для восприятия информации, повысить ее наглядность, сократить объем одновременно выдаваемой экипажу информации). Внедрение новых технических средств отображения информации – многофункциональных ЭД резко повысило интерес к выбору оптимальных способов кодирования индицируемых на них параметров. Одним из таких способов является цветовое кодирование [3].

Согласно экспериментальным данным, в большинстве случаев цветовой код имеет преимущество в скорости и точности переработки информации по сравнению с ахроматическими признаками при решении задач поиска и слежения на экране дисплея. Анализ 42 исследований за 20-летний период выявил, что скорость и точность поиска при использовании цвета на 170% выше, чем при кодировании размером, на 32% выше, чем при кодировании яркостью, на 200% выше, чем при кодировании формой.

Результаты исследований позволяют выявить следующее:

• цветовой код может быть полезен, если высока плотность символов на экране или оператор вынужден отыскивать необходимую информацию в большом массиве данных;

• цветовой код отличает большую скорость и точность поиска заданного объекта на экране (в сравнении с использованием ахроматических стимулов), возможность группировки объектов в смысловые единицы восприятия, способность наложения на другие коды;

• допустимо использование в цветовом коде не более 10 цветов.

В качестве аргументов в пользу цветового кодирования перед ахроматическим можно принять имеющиеся доказательства первоочередности восприятия цвета при многомерном кодировании символов, а также представление о том, что если ахроматические признаки (форма, размер, ориентация символа) обрабатываются последовательно, то информация о цвете обрабатывается параллельно по всей площади дисплея.

Также цвет может быть наиболее эффективно использован следующими способами:

– в качестве ориентира или сигнала тревоги при изменении состояния параметров;

– в качестве средства улучшения видимости символов при ухудшении качества изображения или в результате наложения символов на монохроматическое изображение (цвет может облегчить зрительное восприятие за счет добавления цветового контраста).

Таким образом, эффективность применения цвета зависит от содержания деятельности летчика (члена экипажа) при решении конкретной задачи, степени ее сложности, условий восприятия (структура информационного поля, плотность информации, дефицит времени и др.). Поскольку для деятельности летных экипажей характерны жесткие требования к быстроте и точности выделения и оценки индицируемых параметров в условиях ограниченного резерва времени, применение цвета оправданно даже при оптимально выбранных ахроматических кодирующих признаках.

Также перспективным направлением развития систем отображения информации является применение фрагментарно-пиктографического (Ф-П) представления информации в бортовых и наземных системах обеспечения деятельности операторов [4].

Сущность Ф-П метода заключается в кодировании информации и ее разделении между собой на отдельные фрагменты, увязанные между собой в логическую последовательность. В Ф-П методе применение пиктографических и текстовых средств не раздельно, а находится в органическом единстве, в отличие от традиционных методов представления информации.

Ф-П метод учитывает психофизиологические особенности человека, заключающиеся в том, что зрение человека, через которое он получает более 80% информации, воспринимает изображение фрагментарно, выделяя контуры, содержащие важнейшие сведения об изображении.

Таким образом, Ф-П метод представления информации может с успехом использоваться как при разработке «карманных» инструкций летчику (экипажу), руководителю полетов и специалистам ИТС (полиграфический вариант применения Ф-П метода), так и при создании бортовых и наземных информационно-справочных и экспертных систем обеспечения деятельности авиационных специалистов.

Литература

1. *Абрамов Б.М., Евгенов А.В., Алексеев Э.П.* Интегрированный комплекс бортового оборудования третьего поколения для гражданских самолетов // Проблемы безопасности полетов. 2005. № 12. С. 17–21.

2. *Погребняк В. И.* Использование электронных элементов в системах отображения информации истребителей // Проблемы безопасности полетов. 2001. № 8. С. 11–16.

3. *Крюков К.Ю., Лапа В.В., Рябинин В. А.* Проблема цветового кодирования информации на авиационных дисплеях // Проблемы безопасности полетов. 2003. № 5. С. 24–29.

4. *Чумак А.Г., Култышев В.А., Маяцкий С.А., Харитон В.А., Чижов И.А.* Перспективы применения фрагментарно-пиктографического метода представления информации в бортовых и наземных системах обеспечения деятельности операторов // Проблемы безопасности полетов. 2003. № 8. С. 3–14.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ СИГНАЛА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ РЛС

А.С. Мягков, Т.А. Номоконова, студенты 4 курса;
науч. рук. Е.В. Масалов, д.т.н., проф. каф. КИПР
ТУСУР, кафедра КИПР, г. Томск

Исследования последних десятилетий показывают, что существенное увеличение информативной способности радиолокаторов при дистанционном зондировании природных сред и объектов становится возможным при использовании поляризационной структуры сигналов. Однако возникшая потребность в повышении качества интерпретации результатов измерений делает необходимым более детальное изучение изменений сигналов поляризационных РЛС. При этом становится необходимым исследование изменений огибающей принятого сигнала с целью определения наилучших способов его обработки.

В одноканальных поляризационных радиолокаторах структура сигнала формируется в результате его прохождения через совмещенный преобразователь поляризации (СПП). Одним из наиболее часто используемых преобразователей поляризации является секция круглого волновода со встроенной полуволновой фазовой пластиной.

Для метеообразований (МО) возможно осуществить декомпозицию (т.е. разложение на составляющие) процесса рассеяния, и тогда матрица рассеяния МО, не вносящего дополнительного фазового сдвига между ортогональными составляющими излучаемого сигнала, будет иметь следующий вид:

$$S = 0{,}5(\lambda_1 + \lambda_2)\left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \mu \begin{bmatrix} \cos(2\alpha) & \sin(2\alpha) \\ \sin(2\alpha) & -\cos(2\alpha) \end{bmatrix}\right), \qquad (1)$$

где первое слагаемое соответствует изотропной составляющей рассеяния, а вторая часть – анизотропной составляющей рассеяния, λ_1 и λ_2 – собственные числа матрицы рассеяния, α – угол между измерительным базисом и собственным базисом МО, μ – это степень поляризационной анизотропии метеообъекта. Оценка этого параметра представляется весьма целесообразной в силу установленного однозначного соответствия между геометрическим и электрическим фактором формы частиц метеообразования, т.е.

$$\rho = \rho_г = \frac{b}{a}, \qquad (2)$$

где b и a – это малая и большая полуоси эллипсоида вращения, аппроксимирующего метеочастицу.

Условно процесс прохождения сигнала через СПП, отражение его от природного объекта и вторичное прохождение через СПП имеет вид, представленный на рис. 1.

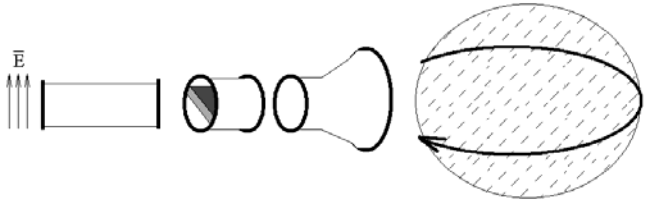


Рис. 1. Структура радиолокационного канала

Определим поляризационную структуру радиолокационного сигнала на разных стадиях прохождения радиолокационного канала.

Чтобы найти вектор Джонса излучаемой волны необходимо перемножить матрицу Джонса устройства, через которое проходит электромагнитная (ЭМ) волна, на вектор Джонса ЭМ волны:

$$\left[Д_{\lambda/2}\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos(2\theta) & \sin(2\theta)\\ \sin(2\theta) & -\cos(2\theta)\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos(2\theta)\\ \sin(2\theta)\end{bmatrix}. \quad (3)$$

Тогда сигнал, принятый антенной, может быть найден из следующей операторной последовательности:

$$\left[Д_{\lambda/2}\right][S]\left[Д_{\lambda/2}\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}=$$

$$=0{,}5(\lambda_1+\lambda_2)\left\{\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}+\mu\begin{bmatrix}\cos(4\theta-2\alpha)\\ \sin(4\theta-2\alpha)\end{bmatrix}\right\}. \quad (4)$$

В случае полуволновой пластины, вращающейся с частотой Ω (т.е. $\theta=\Omega t$), сигнал, поступающий на вход приемника, может быть найден из выражения:

$$E_{\text{ВХ}}=[Д_{\text{П}}]\left[Д_{\lambda/2}\right][S]\left[Д_{\lambda/2}\right]\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $Д_{\text{П}}=\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix}$ – оператор Джонса нормирующей системы (прямоугольный волоновод).

Таким образом, на вход приемника поступает сигнал, огибающая которого имеет вид:

$$E_{\text{ВХ}}=0{,}5(\lambda_1+\lambda_2)\left(1+\mu\cos(4\Omega t-2\alpha)\right). \quad (6)$$

Таким образом, в случае поляризационной модуляции излучаемого сигнала с использованием СПП на основе вращающейся полуволновой

пластины огибающая импульсной последовательности принятого сигнала в случае отсутствия дополнительного фазового сдвига $\Delta\varphi$ между ортогональными компонентами отраженной волны и при линейных собственных поляризациях МО содержит постоянную составляющую, равную полусумме собственных чисел λ_1 и λ_2, а также четвертую гармонику. Оценка степени анизотропии в силу приведенного выше выражения огибающей может быть получена на основе удвоенного значения амплитуды четвертой гармоники. Кроме того, самостоятельным информативным признаком является оценка фазы четвертой гармоники, которая однозначно и непосредственно связана с ориентацией поляризационного базиса радиолокационного объекта и может характеризовать как ориентацию метеообразования в пространстве, относительно измерительного базиса, так и воздействие на эту ориентацию природных явлений.

В рассматриваемом случае метеообъекта, не вносящего фазовый сдвиг, для осуществления операции нормировки огибающей, необходимой для оценки амплитуды четвертой гармоники, как функции коэффициента поляризационной анизотропии, наиболее целесообразным является использование приемника с логарифмической характеристикой. Теоретическая оценка показывает, что на долю гармоник (выше четвертой) приходится не более 18%.

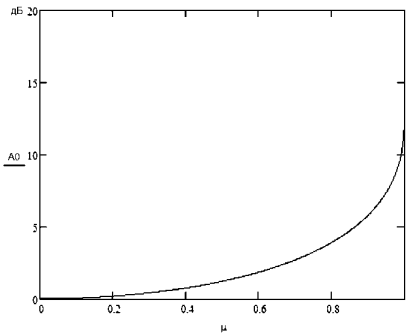


Рис. 2. График зависимости $A_0(\mu)$

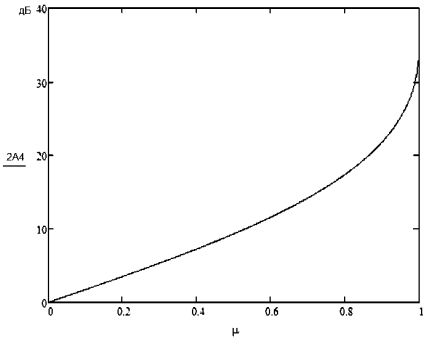


Рис. 3. График зависимости $2A_4(\mu)$

Графики зависимостей постоянной составляющей (A_0) и удвоенного значения амплитуды четвертой гармоники ($2A_4$) от коэффициента поляризационной анизотропии приведены соответственно на рис. 2 и 3.

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ МОДУЛЬНОГО ТИПА ГСПФ-250

А.П. Павлов, студент каф. КИПР;
А.Ф. Пустовойт, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.
ТУСУР, Томск

При построении измерительных систем или систем диагностики очень часто возникает потребность в источнике сигналов. Если сигнал имеет простую форму или требования к временным характеристикам сигнала сложной формы не существенны, то задача решается достаточно просто. Например, для синтеза синусоиды, пилы, меандра и других простых периодических сигналов можно использовать DDS синтезаторы, конструктивно представляющие собой интегральную микросхему с минимальным количеством элементов обвязки. Для генерации цифровых последовательностей, например, кодов Баркера можно успешно применять микроконтроллеры.

Задача синтеза широкополосных сигналов с заданными спектральными и временными характеристиками является на сегодняшний день актуальной в рефлектометрии [1]. Устройство синтеза в таком случае превращается либо в законченное изделие, либо в модуль, выполняющий определенные функции. Проблема создания такого устройства перестает быть тривиальной, так как это быстродействующее цифровое устройство, содержащее в своем составе ЦАП и другие аналоговые цепи. Наличие как цифровой, так и аналоговой частей остро поднимает вопрос электромагнитной совместимости.

Реальная потребность в устройстве возникла с момента создания векторного импульсного измерителя цепей Р-4И. Функционально, в состав измерителя входит генератор сигналов произвольной формы. Реализация ГСПФ выбрана модульной, так как в данном случае он является встраиваемым.

Первым шагом на пути создания прибора была разработка макет генератора ГСПФ-180. В основу работы устройства был заложен принцип прямого цифрового синтеза [2]. Макет имел следующие технические характеристики:

- частота дискретизации – 180 МГц;
- амплитуда выходного напряжения – 3,5 В;
- выходное сопротивление – 50 Ом;
- объем памяти – 2 Кб;
- входы: вход синхронизации;
- выходы: выход сигнала, выход синхронизации;
- интерфейс управления: USB 1.1.

Тестирование макета прошло удачно. Были получены сигналы с произвольной формой. Но также был выявлен ряд ошибок и недостатков. В частности в конструкции печатной платы имелось множество паразитных связей и наводок. Основными недостатками можно считать слишком малый объем памяти (2000 точек), не позволяющий генерировать длинные сигналы, а также недостаточно высокую частоту дискретизации (180 МГц).

После анализа всех допущенных ошибок был разработан генераторный модуль ГСПФ-250. Принцип синтеза сигнала остался прежним, но характеристики устройства значительно улучшились:

− частота дискретизации – 250 МГц;

− амплитуда выходного напряжения – 2 В;

− выходное сопротивление – 50 Ом;

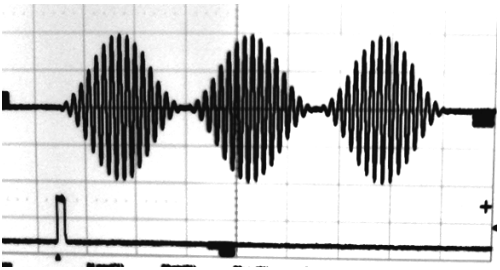
− объем памяти – 64 Мбайта;

− входы: вход синхронизации согласованный и вход синхронизации ТТЛ уровнями;

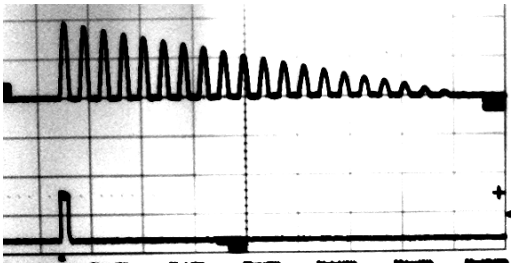
− выходы: выход сигнала, выход синхронизации;

− управление: 8-битная параллельная шина.

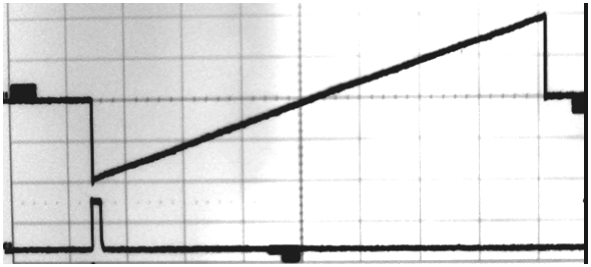
На данный момент производится тестирование устройства. На рис. 1 представлены осциллограммы синтезированных сигналов и генераторный модуль ГСПФ-250.



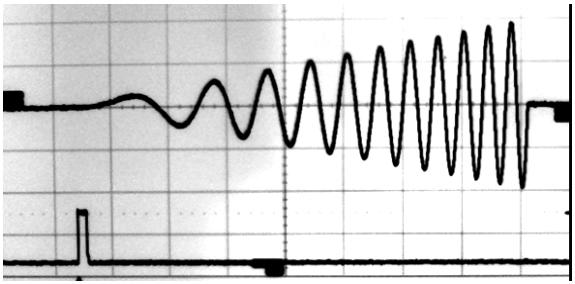
а



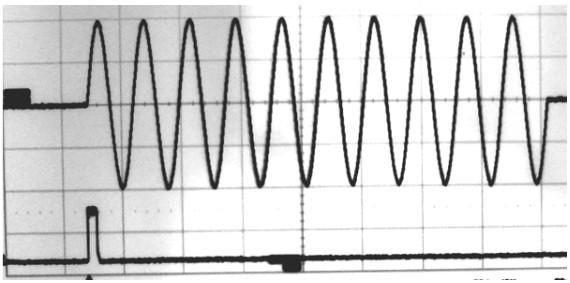
б



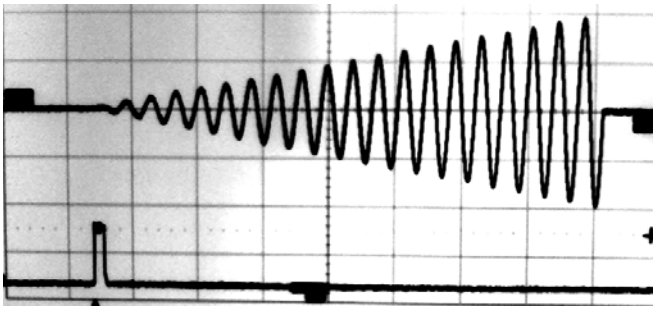
в



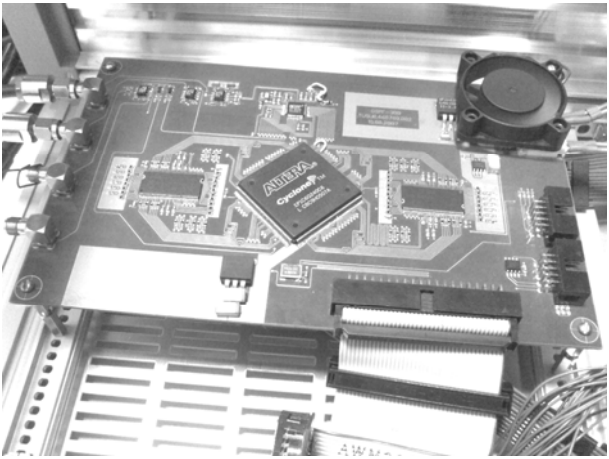
г



д



е



ж

Рис. 1. Испытания генераторного модуля ГСПФ-250:
а – АМ сигнал; *б* – линейно спадающая синусоида с отсеченными отрицательными полуволнами; *в* – пила; *г* – ЛЧМ; *д* – радиоимпульс; *е* – линейно возрастающая синусоида; *ж* – генераторный модуль ГСПФ–250

По завершению тестов и проведению окончательных измерений параметров синтезируемого сигнала прибор войдет в состав векторного импульсного измерителя цепей Р4-И.

Литература

1. *Лощилов А.Г., Семенов Э.В., Малютин Н.Д.* Цифровой измерительный комплекс для измерения частотных и импульсных характеристик четырехполюсников // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. №8. С. 37–41.

2. *Кестер У.* Цифровая обработка сигналов. (www.ebdb.ru).

АНТЕННАЯ РЕШЕТКА КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

А.В. Пепеляев, студент 4-го курса;
науч.й рук. В.Н. Татаринов, д.т.н., проф. каф. КИПР
г. Томск, ТУСУР, кафедра КИПР

Поляризационные радиолокаторы обладают повышенной информативностью при дистанционном зондирование природных сред и объектов.

Информативность данных радиолокаторов основана на том, что волна круговой поляризация после отражения в общем случае стано-

виться эллиптически поляризованной. Эллиптически поляризованную волну можно разложить на две волны круговой поляризации с противоположными направлениями вращения амплитуд E_R и E_L. Данное разложение показано на рис. 1.

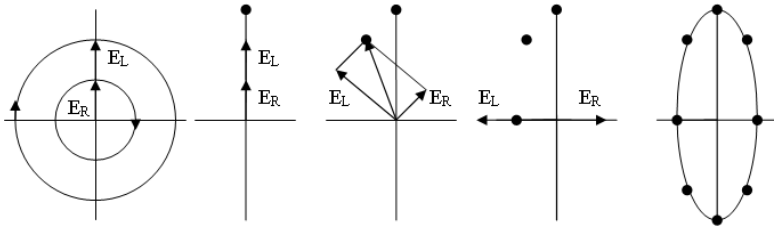


Рис. 1. Разложение эллиптически поляризованной волны на две волны с ортогональными круговыми поляризациями

Отношение этих амплитуд дает так называемое круговое поляризационное отношение (1), которое является основным информативным параметром поляризационного радиолокатора.

$$\left|\dot{P}_{RL}\right| = \left|\frac{\dot{E}_R}{\dot{E}_L}\right|. \qquad (1)$$

Таким образом основной задачей становиться разложение принятого сигнала произвольной поляризации в круговом поляризационном базисе.

Такое разложение может дать антенна совместно с волноводно-щелевым мостом.

Особая конструкция антенны, которая представлена на рис. 2, обеспечивает разложение принятого сигнала в линейном поляризационном базисе.

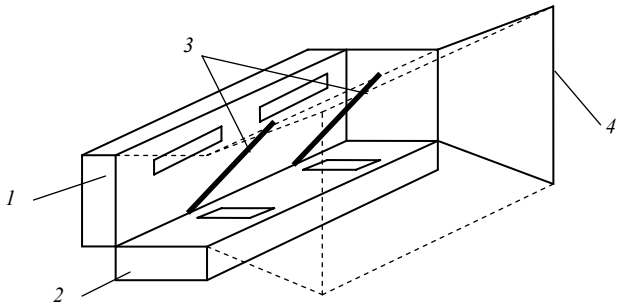


Рис. 2. Фрагмент антенной решетки:
1 – волноводно-щелевая решетка (ВЩР) с продольными щелями; *2* – ВЩР с поперечными щелями; *3* – поляризационное зеркало; *4* – рупорный излучатель

Отраженная электромагнитная волна, в общем случае эллиптическая, может быть представлена как суперпозиция двух ортогональных линейных поляризаций. Вертикальная составляющая волны отражается от поляризационного зеркала и попадет в нижнюю ВЩР, а горизонтальная составляющая, пройдя с минимальным искажением, в верхнею ВЩР.

Таким образом, волна разделенная на две части соответствующие проекциям принятого излучения на линейный поляризационный базис, проходит по волноводной системе через согласующий четвертьволновой трансформатор и поступает в волноводно-щелевой мост.

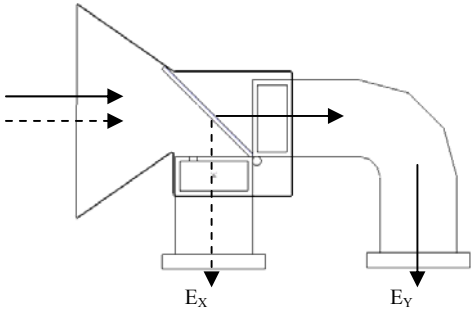
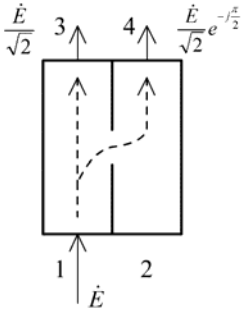


Рис. 3. Разложение на линейный базис в антенне



Волноводно-щелевой мост представляет собой два волновода с общей узкой стенкой, в которой прорезана щель. Волна поступившая на один из входов делится на две части, одна из которых выходит из того же волновода без изменения фазы, а другая часть проходит в соседний волновод и получает отставание по фазе на 90º.

Рис. 4. Волноводно-щелевой мост

Математически работа волноводной секции описывается с помощью матричных преобразований над векторами Джонса (2).

$$\begin{vmatrix} \dot{E}_3 \\ \dot{E}_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ \frac{\sqrt{2}}{2}e^{-j\frac{\pi}{2}} & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \dot{E} \\ 0 \end{vmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{vmatrix} \dot{E} \\ \dot{E}e^{-j\frac{\pi}{2}} \end{vmatrix} \qquad (2)$$

Тогда общий вид матричного уравнения примет вид:

$$\begin{vmatrix} \dot{E}_3 \\ \dot{E}_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} e^{-j\frac{\pi}{2}} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} e^{-j\frac{\pi}{2}} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \dot{E}_1 \\ \dot{E}_2 \end{vmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{vmatrix} \dot{E} \\ \dot{E} e^{-j\frac{\pi}{2}} \end{vmatrix} \qquad (3)$$

Если полученные сигналы направить в антенну, то антенна излучит в пространство импульс круговой поляризации. И наоборот. Волна круговой поляризации пройдя по волноводной системе выйдет либо с одного либо с другого выхода волноводно-щелевого моста, в зависимости от направления вращения круговой поляризации.

Таким образом, антенно-волноводная система принимает волну произвольной поляризации, раскладывает ее в линейном базисе, и преобразует к круговому для дальнейшей обработки.

ВЛИЯНИЕ ТИПИЧНЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КАЧЕСТВО СОГЛАСОВАНИЯ АНТЕННО-ФИДЕРНОГО УСТРОЙСТВА С РАДИОПЕРЕДАЮЩИМ АППАРАТОМ

В.В. Тимофеев, аспирант

АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, RA9YJY@mail.ru

При проведении исследования параметров выходного сигнала радиопередающего аппарата (РПА) и оптимизации его частотной полосы, возникла необходимость оценки степени влияния внешних воздействий различного рода, на антенно-фидерное устройство (АФУ) РПА. Оценка существенности этих воздействий представляется значимой для формирования вывода о практической целесообразности учета их влияния на работу АФУ в процессе штатной эксплуатации РПА широкого назначения.

Наибольшее распространение в различных службах радиосвязи получили антенны с вертикальной поляризацией излучаемого сигнала. Это связано с тем, что часть пользователей радиосети являются мобильными объектами. Для минимизации потерь, связанных с различным типом поляризации сигналов, поляризация сигналов, излучаемых стационарными антеннами также должна быть вертикальной. Таким образом, становится очевидным выбор типа исследуемых антенн.

В качестве типичных внешних факторов, воздействующих на антенну, рассмотрены попадание проводящей поверхности в апертуру антенны и воздействие влажных атмосферных осадков. Эти воздействия характерны как для антенн мобильного исполнения, так и для стационарных антенн. В первую очередь это касается, конечно же, влияния климатических воздействий. При движении в транспортном потоке антенна мобильного пользователя радиосети постоянно подвергается воз-

действию посторонних проводящих поверхностей, попадающих в апертуру антенны. Этими поверхностями являются металлические кузова других транспортных средств, элементы оборудования дороги, элементы архитектурной застройки и т.д. Естественно, что все эти проводящие поверхности неизбежно оказывают негативное влияние на работу антенны, поскольку по отношению к ней являются посторонними, т.е. не учтены в ее конструкции при проектировании, изготовлении и настройке. Эксперименты проводились в ультракоротковолновом диапазоне 144 МГц. Решение о выборе частотного диапазона для проведения экспериментов было продиктовано желанием максимально объективно оценить вышеперечисленные внешние воздействия. Использование достаточно компактных антенн позволило в максимальной степени повысить достоверность результатов проводимого исследования, поскольку объем свободного пространства, необходимого для объективности полученных данных, также требовался небольшой. При этом в процессе проведения серий измерений периодически проводились контрольные замеры параметров исследуемой антенны при размещении ее в свободном пространстве, для четкого разграничения наличия внешних воздействий на антенну и отсутствия таковых.

Для объективной количественной оценки степени рассогласования АФУ с РПА при постановке экспериментов производились замеры параметров АФУ анализатором антенн MFJ-259 B. В качестве объекта исследования была использована штыревая автомобильная антенна с вертикальной поляризацией излучаемого сигнала и круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости с длиной излучателя, равной 1/4 длины волны. Конструктивно эта антенна была выполнена на магнитном основании с элементами согласования в корпусе основания и емкостной связью с кузовом автомобиля. Рабочий диапазон частот антенны составлял 144–146 МГц, при коэффициенте стоячей волны не более 1,1. Антенна обладает входным сопротивлением 50 Ом и присоединяется к РПА посредством коаксиального кабеля со стандартным разъемом PL-259. После монтажа антенны на крыше легкового автомобиля было инструментально проверено соответствие фактических технических параметров приведенным в документации производителя. Все измеренные параметры соответствовали паспортным в полном объеме.

В качестве проводящей поверхности, вносимой в апертуру антенны при проведении первой части эксперимента, была выбрана железобетонная плита потолочного перекрытия. Этот выбор обосновывался тем, что металлическая арматура, составляющая несущий каркас железобетонной плиты представляет собой сетку с квадратной ячейкой сечением не более 0,05 длины волны выбранной для проведения исследования. Ячейки арматурной сетки соединены между собой с применением сварочного шва, обеспечивающего надежный электрический контакт между прутка-

ми, т.е. для радиоволн такая сетка является проводящей поверхностью. Кроме этого габаритные размеры плиты (4×6 м) представляли собой аналог типичного габарита крупного транспортного средства или элемента архитектуры. Расстояние до антенны составляло менее одной длины волны и не оказывало принципиального значения на результаты измерений при варьировании до 0,5 длины волны.

Проведением контроля качества согласования АФУ с РПА в описанных условиях установлено недопустимое для эксплуатации РПА ухудшение параметров согласования. Так входное активное сопротивление антенны в рабочем диапазоне возросло до 102–120 Ом, возникла реактивная составляющая порядка 15–20 Ом, коэффициент стоячей волны (КСВ) повысился до 2,5–2,7.

Вторая часть исследований предполагала воздействие на антенну влажных атмосферных осадков. Моделирование выпадения осадков имитировалось с помощью распылителя. В качестве земли для первоначального согласования антенны был использован металлический профиль длиной два метра. Будучи помещенным над металлической емкостью, имитирующей кузов автомобиля, он позволил согласовать вышеописанную антенну в рабочем диапазоне частот с КСВ не более 1,1. При этом входное сопротивление антенны являлось чисто активным и составляло 51–52 Ом. Воздействие влажных осадков в капельной форме с интенсивностью 20–40 мм·м^2/мин дало следующий эффект. Во-первых, возникла реактивная составляющая входного сопротивления антенны в пределах 10–15 Ом, во-вторых, существенно возросло входное сопротивление антенны до 100–115 Ом. Кроме этого КСВ в рабочем диапазоне приобрел существенную нелинейность и составил 1,9–2,3. Предполагается, что природные осадки, неизбежно имеющие дополнительные загрязняющие примеси, по сравнению с очищенной питьевой водой окажут еще более негативное воздействие на качество согласования АФУ с РПА.

Таким образом, подводя итог проведенным исследованиям, можно утверждать, что влияние типичных внешних воздействий на качество взаимного согласования АФУ РПА носит существенный характер. Результатом этого влияния является изменение электрических параметров антенны, непосредственно оказывающих влияние на качество согласования АФУ с РПА. Степень рассогласования АФУ с РПА, возникающая при этом, вполне достаточна для снижения качества согласования АФУ с выходным каскадом РПА ниже уровня, предусмотренного производителем РПА для данного типа аппаратуры, в качестве допустимого эксплуатационного. Следовательно, необходимым условием обеспечения долговременной и надежной эксплуатации РПА является поддержание качества согласования на уровне, рекомендованном разработчиком и производителем РПА.

СЕКЦИЯ 5

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

*Председатель – **М.Ю. Катаев,** д.т.н., профессор каф. АСУ,*
*зам. председателя – **И.В. Бойченко,** к.т.н., доцент каф. АСУ*

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РОБОТА

С.М. Алферов, аспирант каф. АСУ
ТУСУР, г. Томск, alhoresm@sibmail.com

Для формирования системы уравнений динамики робота со сложной геометрией звеньев, представляемых большим числом компонентов обычный алгоритм [1] будет многократно выполнять одни и те же вычисления, так как в пределах конкретного звена твердые тела, представляемые разными компонентами, не двигаются между собой. Следовательно, суммарный тензор инерции можно заранее вычислить и запомнить для соответствующего кинематического узла.

Целью работы была разработка и реализация алгоритма расчета суммарных тензоров звеньев робота манипулятора.

На **Ошибка! Источник ссылки не найден.** представлен фрагмент объектной модели, используемой для хранения компонентной цепи робота-манипулятора. Для представления объектной модели использован язык UML [2].

Центр масс нескольких тел вычисляется по формуле:

$$r = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{n} r_i m_i \ , \qquad (1)$$

где $m = \sum_{i=1}^{n} m_i$.

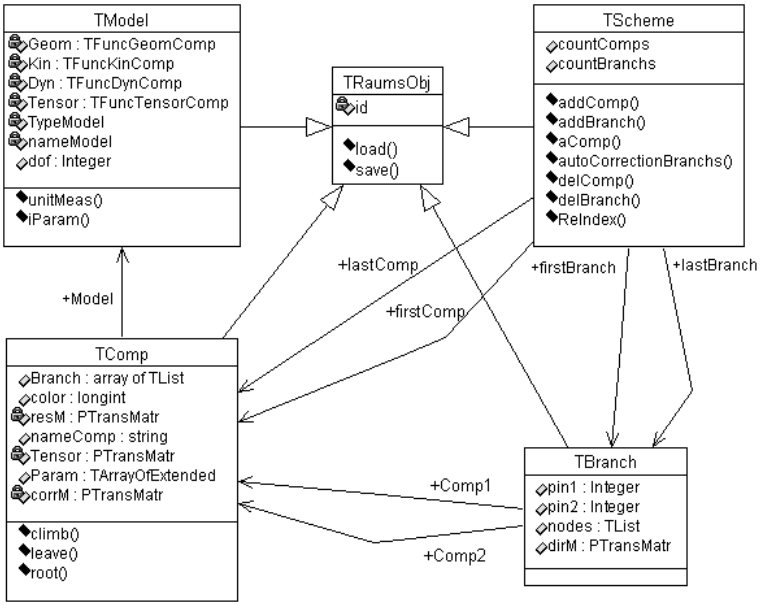
Допустим положение объектной системы координат (ОСК) тела относительно СК кинематического узла задано матрицей перехода *rM*, тензор инерции тела относительно его центра масс *Tensor* и центр масс этого тела расположен со смещением, заданным в матрице *corrM* относительно его ОСК тела. Тогда результирующий тензор инерции тела

относительно СК кинематического узла вычисляется по формуле [3. http://www.edu.ioffe.ru/register/?doc=physica/lect3.ch3]:

$$\mathrm{res}T_{i,j} = \begin{cases} \mathrm{res}T2_{i,j}, & i \neq j, \\ \mathrm{res}T2_{i,j} + a, & i = j, \end{cases} \qquad (2)$$

$$i, j = 1,\ldots,3,$$

где $\mathrm{res}T2_{i,j} = \left(\sum_{k=1}^{3} \sum_{l=1}^{3} trM_{i,k} trM_{j,l} \mathrm{Tensor}_{k,l} \right) - trM_{i,4} trM_{j,4}$, $a = \sum_{i=1}^{3} trM_{i,4}{}^2$.



Фрагмент объектной модели компонентной цепи робота

Матрица *trM* вычисляется по формуле:

$$trM = rM \times corrM \ , \qquad (3)$$

где $rM = \prod_i dirM_i$, здесь i – индексы всех матриц перехода от СК кинематического узла до ОСК рассматриваемого тела.

Описание алгоритма.

Глобальная переменная: *rM*.

Вход: solidComp – текущий компонент при рекурсивном обходе, kinComp – кинематический узел к которому подключен текущий компонент.

1. Если текущий компонент solidComp является кинематическим узлом, то

1.1. Запомнить компонент для передачи его в глубь дерева kinComp:=solidComp.

1.2. Записать в *resM* и *corrM* единичные матрицы.

1.3. Записать в tensor нулевые значения.

2. Если текущий компонент solidComp является твердым телом, то

2.1. Вычислить *trM* по формуле (3).

2.2. Вычислить тензор *resT* по формуле (2).

2.3. *Tensor*:=*Tensor*+ *resT*.

2.4. Вычислить сумму для центра масс по формуле (1)

2.4.1. $corrM_{1,4}$:= $corrM_{1,4}$+$trM_{1,4}$.

2.4.2. $corrM_{2,4}$:= $corrM_{2,4}$+$trM_{2,4}$.

2.4.3. $corrM_{3,4}$:= $corrM_{3,4}$+$trM_{3,4}$.

3. Рекурсивный спуск для каждой присоединенной к компоненту solidComp ветви (i=1,…,n):

3.1. Определить следующий компонент в дереве nextComp.

3.2. Рекурсивный вызов алгоритма.

3.2.1. Записать в стек (solidComp, kinComp).

3.2.2. solidComp:=nextComp.

3.2.3. Переход к шагу 1.

3.3. Взять из стека (solidComp, kinComp).

4. Выход из рекурсии, если текущий компонент solidComp был кинематическим узлом, то

4.1. Завершить вычисление центра масс по формуле (1):

4.1.1. $corrM_{1,4}$:= $corrM_{1,4}$ / $Tensor_{4,4}$.

4.1.2. $corrM_{1,4}$:= $corrM_{1,4}$ / $Tensor_{4,4}$.

4.1.3. $corrM_{1,4}$:= $corrM_{1,4}$ / $Tensor_{4,4}$.

4.2. Очистить временные переменные: *resM*:=0.

5. Конец (переход к шагу 3.3).

Использование представленного алгоритма позволит увеличить скорость формирования системы уравнений динамики и значительно уменьшит зависимость времени расчета динамики от сложности геометрии звеньев.

Выражаю огромную благодарность А.Н. Горитову за консультации и советы в рамках данной темы и за помощь в подготовке материала.

Литература

1. *Алферов С.М.* Научная сессия ТУСУР-2007, часть 4. Томск.
2. *Боггс У., Боггс М.* UML Rational Rose. Лори, 2001.
3. http://www.edu.ioffe.ru/register/?doc=physica/lect3.ch3

ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИДАРНОГО ГАЗОАНАЛИЗА

А.П. Макрушин, студент каф. АСУ
ТУСУР, г. Томск, No_aM@mail.ru

Атмосфера Земли представляет собой сложную систему, на ее состояние влияют многие факторы, среди которых основными являются взаимодействие с литосферой и гидросферой, солнечная активность и индустриальная деятельность человека. В последние годы стало очевидным, что индустриальная деятельность человека во многом отрицательно сказывается на окружающей среде, в том числе на атмосфере. Среди всех атмосферных газов особое место занимают так называемые парниковые газы – водяной пар, углекислый газ, озон, метан и закись азота, которые оказывают существенное влияние на климат Земли, несмотря на относительно малое содержание их в атмосфере.

Известно, что масса аэрозоля составляет лишь 10–9% от массы атмосферы, однако он оказывает значительное воздействие на атмосферные процессы и, в том числе, на погоду и климат. При этом аэрозоль воздействует на излучение в атмосфере, поглощая и рассеивая солнечную радиацию и излучение лазеров. Поэтому учет аэрозольного ослабления в задачах газового анализа является важным и необходимым.

В настоящее время разработано множество способов слежения за состоянием атмосферы. Это методы непосредственного измерения таких параметров, как концентрации газов, температура, давление с помощью специальных приборов, запускаемых на аэростатах, и методы дистанционного измерения, основанные на зондировании с использованием лазерных источников. Методы лазерного зондирования занимают одно из ведущих мест, благодаря возможности оперативно получать данные с высоким пространственным и временным разрешением. В контексте проблем, связанных с изменением климата, загрязнением воздушной среды, оперативность и возможность получения точных данных при слежении за изменениями температуры и концентрации газовых составляющих становятся очень значимыми. Лазерные методы, как наиболее точные и оперативные, позволяющие одновременные измерения сразу нескольких параметров, получили широкое распространение.

Перспективность лазерных методов связана с тем, что при распространении лазерного излучения в атмосфере наблюдается целая гамма явлений взаимодействия электромагнитного излучения со средой. К ним относится поглощение и рассеяние атомами и молекулами атмосферных и примесных газов; рассеяние и поглощение аэрозольными частицами; резонансное и комбинационное рассеяние излучения молекулами атмосферных и примесных газов. Каждое из этих явлений приводит к характерным изменениям энергетических, спектральных, временных и поля-

ризационных характеристик лазерного излучения. Регистрируя эти изменения и расшифровывая их определенным образом, можно получить информацию практически о любых параметрах атмосферы.

Газовые лазеры представляют собой наиболее широко используемый в настоящее время тип лазеров. Среди различных типов данного вида лазеров всегда можно найти такой, который будет удовлетворять почти любому требованию, предъявляемому к лазеру.

Разреженность рабочего газа обеспечивает оптическую однородность среды с низким коэффициентом преломления, что позволяет применять простую математическую теорию для описания структуры мод резонатора и дает уверенность в том, что свойства выходного сигнала близки к теоретическим.

В качестве среды разработки предлагается использовать LabView. В последнее время данная среда программирования завоевывает все большую популярность в инженерных и научных расчетах. LabView – интегрированная среда разработчика для создания интерактивных программ сбора, обработки данных и управления периферийными устройствами. Сочетание графического языка программирования и современного компилятора позволяет значительно сократить время разработки сложных систем при сохранении высокой скорости выполнения программ.

LabView – графическая система программирования на уровне функциональных блок-диаграмм, позволяющая графически объединять программные модули в виртуальные инструменты (Virtual Instruments – VI). Таким образом, LabVIEW дает возможность избежать сложностей обычного «текстового» программирования.

Для учета метеомодели предлагается использовать широко применяемые базы данных, такие как AFGL, IAO, CIRA.

Литература

1. *Тревис Дж*. LabVeiw для всех. ДМК Пресс, 2003. 544с.

2. *Лазерный* контроль атмосферы / Под ред. Хинкли Э.Д., Зуева В.Е. М.: Мир, 1979. 416 с.

ОБЗОР МЕТОДИК ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ВИДЕОПОТОКА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

А.В. Басов, А.В. Емельяненко, Д.В. Аникин, Я.А. Хамаганов

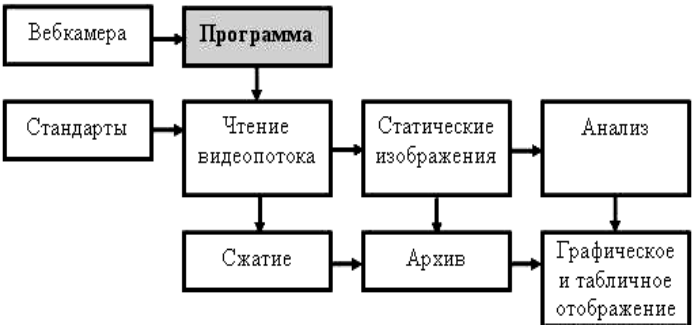
ТУСУР г. Томск, dvex@ms.tusur.ru

Идея применения видеоинформации в целях диагностики пациентов состоит в том, чтобы проанализировать видеозапись, на которой пациент выполняет некоторые тестовые упражнения, и сверить с предыдущими

результатами или аналогами. Первостепенной в данном подходе является задача преобразования видеопотока в отдельные изображения, ведь от ее решения зависит быстродействие и эффективность метода в целом. Для того чтобы применять алгоритмы и математические методы, например для оценки работы группы мышц, необходимо «добыть» из видеопотока нужную информацию при помощи соответствующих методик. В настоящее время существует много технологий, позволяющих управлять широким спектром устройств аудио/видеоввода, выполнять операции преобразования и обработки видеоинформации. Эти технологии позволяют производить захват, сжимать, кодировать, фильтровать и кадрировать видеопоток. В данном докладе рассматриваются некоторые из них.

Видеопоток бывает форматированный в одном из известных стандартов, например MPEG, или неформатированный. В том и другом случае необходимо в нашей задаче однозначно по времени получать из потока статические изображения и передавать их в блок анализа. Часть потока сжимается и остается в виде документа, который в последующих случаях может быть использован для целей анализа или сравнения с последующими сценами прихода пациента.

Нами написана программа для работы с видеопотоком. Схема программы изображена на рисунке.



Блок-схема программы

Веб-камера выбрана из множества видов аппаратуры для съемки видеоданных не случайно. Стоимость средней веб-камеры гораздо ниже, чем камеры других видов. Качество же картинки, получаемой с веб-камеры из средней ценовой ниши, является приемлемым для работы комплекса.

Для *чтения видеопотока* с *веб-камеры*, выделения из него интересующих нас *статических изображений* для последующей обработки и

хранения и других необходимых преобразований, используется технология Microsoft® DirectShow®.

Технология Microsoft® DirectShow® является частью DirectX® и предназначена для работы с потоковым мультимедиа – видео и звуком. Используя эту технологию, приложение может воспроизводить и захватывать видео и звук с различных источников, не вдаваясь в аппаратную сущность используемых устройств. Для этого используемые устройства должны иметь так называемые WDM-драйвера, позволяющие распознавать их и управлять ими через стандартные интерфейсы DirectShow®.

DirectShow® оперирует программными компонентами, называемыми фильтрами. Нам предоставляется возможность удобно и быстро выстраивать любые цепочки фильтров для обработки входных видео- и аудиоданных. Входной поток данных, проходя через такую цепочку, «отдает» всю необходимую нам информацию об объекте исследования. При правильном проектировании системы фильтры могут разрабатываться и обновляться независимо разными командами разработчиков и на любых языках программирования, при условии соблюдения правил и стандартов принятых в рамках данного проекта.

Безусловно, хранить видеопоток в первоначальном виде очень накладно из-за объема занимаемой памяти. Поэтому большинство отснятого материала после *предварительного анализа* (выделения необходимых статических изображений, выделения важных отрывков видеозаписи и т.д.) теряется.

Выделенные отрывки видеозаписей, требуемые для последующего точного воспроизведения поведения объекта, проходят процедуру *сжатия* специальным кодеком для уменьшения занимаемого объема. В качестве такого кодека выбран давно известный и хорошо себя зарекомендовавший кодек – XviD. Кодек является открытой реализацией международного стандарта MPEG-4, который используется преимущественно для сжатия цифрового аудио и видео. Стандарт появился в 1998 г. и включает в себя группу стандартов сжатия аудио и видео и смежные технологии, одобренные ISO. Далее видеофрагменты передаются в *архив*.

Статические изображения также подвергаются процедуре *сжатия*. Для этого выбран PNG – растровый формат хранения графической информации, использующий сжатие без потерь. Изображения являются основой для процедуры *анализа*, поэтому крайне важно свести потери при преобразованиях к минимуму. Большинство изображений после извлечения и сохранения интересующих нас данных удаляются. Снимки, требуемые для документального свидетельства наблюдений, передаются в *архив*.

После процедуры *анализа* в *архив* передается большое количество бинарных данных об объекте наблюдения и статистике поведения. Если статистические данные довольно удобно представить в виде таблиц и графиков, то с данными о поведении (например движения) дело обстоит по-другому. Эти данные требуют наглядного отображения. И здесь нам на помощь приходит 3D-моделирование движений и перемещений при помощи библиотеки OpenGL (Open Graphics Library – открытая графическая библиотека). Такой подход позволяет кардинально сократить количество хранимого видеоматериала.

Для разработки основы программного комплекса выбрана среда Borland Delphi 2006 позволяющую быстро разработать удобный интерфейс пользователя. Помимо инструментов для разработки графической оболочки, Delphi предлагает мощные средства для работы с базами данных. Кроме этого, в нашем распоряжении оказываются два мощных компонента: DSPack для удобной работы с DirectShow и OpenGL «движок» glscene. Оба этих компонента являются открытыми, что позволяет изменять и добавлять интересующие нас функции.

Все применяемые нами технологии являются давно известными и хорошо себя зарекомендовавшими. Их использование дает нам возможность сосредоточиться на разработке совершенно новых подходов непосредственно в области исследования человека.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АСПЕКТ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦТИЗАЦИИ «СТАРТ»

Р.И. Гааг, студент; И.С. Калганов, студент;
науч. рук. О.Б. Фофанов
ТПУ, г. Томск, obf@osu.cctpu.edu.ru

Сегодня каждая фирма сталкивается с весьма широким набором задач, которые необходимо эффективно решать в сжатые сроки. Даже весьма небольшие предприятия должны уделить внимание целому ряду проблем. Условия современного рынка заставляют искать новые подходы к решению старых задач. Основные из них – это эффективное использование имеющихся ресурсов, оптимизация расходов и повышение уровня доходов. Последнее время на предприятиях все более часто используют ERP-системы. Они позволяют более эффективно расходовать ресурсы, планировать бюджеты, вести бухгалтерию предприятия и т.д.

Система комплексной информатизации бизнес-процессов «Старт» нацелена на решение всего спектра задач, стоящих перед современными фирмами. Она сопоставима с ERP-системой легкого класса для малых фирм и предназначена для предприятий формы собственности ООО.

Нашей целью является создание системы с элементами искусственного интеллекта. Системы искусственного интеллекта сегодня задействованы во многих областях, и нам представляется весьма перспективным его применение в экономической сфере. Основной задачей ставится автоматизация большинства бизнес-процессов предприятия.

Система имеет ядерно-модульную архитектуру, позволяющую легко подключать и отключать функциональные блоки. Ядро системы обеспечивает основной функционал программы и интерфейс взаимодействия блоков друг с другом. Интерфейсы остаются неизменными. Таким образом, мы получаем легкую для обновления систему.

Для решения большинства задач, мы выявили следующие блоки.

Блок управления финансами. Составление бюджета предприятия, разработка кредитной политики, контроль над движением средств.

Блок бухгалтерского учета. Ведение бухгалтерии предприятия, формирование отчетности для предоставления в налоговые органы. Складской учет.

Интернет-магазин. Веб-сайт компании с возможностью электронной коммерции.

Блок работы с клиентами и поставщиками. Хранит историю заказов товаров и услуг, план поставок.

Блок договорной деятельности. Отслеживание выполнения условий договоров (сроков поставок, оказания услуг и прочего). Ведение истории договоров.

Блок планирования. Составление долгосрочных и краткосрочных планов развития предприятия. Формирование списка задач подчиненным, контроль сроков и качества их выполнения. Ведение проектов.

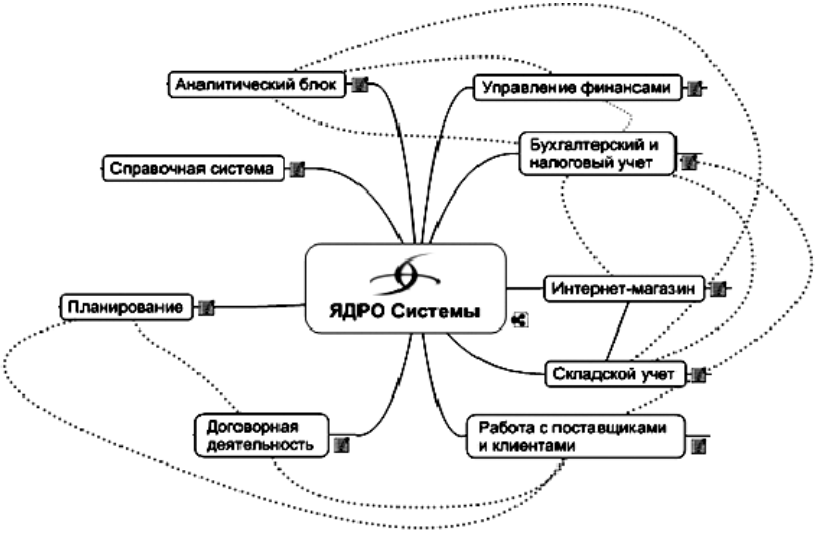
Справочная система. Целесообразна интеграция с существующими справочными системами, такими как «Гарант».

Аналитический блок. Формирование текстовых и графических отчетов (графиков, схем, диаграмм) по продаваемым товарам и услугам. Выявление убыточных и прибыльных направлений. Анализ данных и прогнозирование экономической ситуации, предложение вариантов действий.

Общая схема системы представлена на рисунке.

Для нас, с точки зрения научной новизны, наибольший интерес представляет модуль аналитики. Современные разработки в области математического моделирования экономических процессов позволяют предсказывать поведение рынка. Таким образом, на основе полученной от других модулей информации, аналитический блок сможет реагировать на малейшие изменения рынка, подмечать тенденции, которые может не учитывать человек. Это даст предпринимателям возможность

выигрывать конкурентные войны, занимая лидирующие позиции. На наш взгляд, следующим этапом развития ERP-систем будет внедрение в них интеллектуальной составляющей.



Общая схема системы

На сегодняшний день существует большое количество программных продуктов, позволяющих решать на предприятии почти любую задачу. Однако трудность их использования состоит в том, что каждый продукт действует автономно. Совместная работа приложений могла бы дать более ощутимые результаты. Скажем, автоматическое формирование каталога продукции интернет-магазина на основе данных складского учета. Взаимосвязанная работа модулей КСИБП «Старт» позволяет реализовывать подобные функции.

С технической стороны к системе были предъявлены следующие требования:

- Безопасность и надежность в работе.
- Простота и удобство в установке, настройке и обслуживании.
- Дружественный интерфейс и контекстная справочная система.
- Модульность, расширяемость и возможность интеграции.
- Кросс-платформенность.
- Возможность доступа с мобильных устройств.
- Приемлемая стоимость и невысокие системные требования.

Для реализации данного проекта был выбран язык Java и базы данных MySQL, JDB и ORACLE. Приложение спроектировано по клиент-серверной технологии. Роль клиента выполняют Java-апплеты и Java server pages (jsp) спецификации J2EE, а серверная часть выполняется в виде Java-сервлетов.

На данный момент описаны интерфейсы ядра системы, составлена концептуальная модель предметной области, разработана структура базы данных, написано техническое задание по ГОСТ 34.602-89. Необходимо полностью реализовать ядро системы, разработать и реализовать функциональные модули, разработать графический интерфейс, отвечающий последним требованиям удобства использования, а также обеспечить коммерческое продвижение продукта.

МЕТОДИКА МЕДИЦИНСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИДЕОПОТОКА

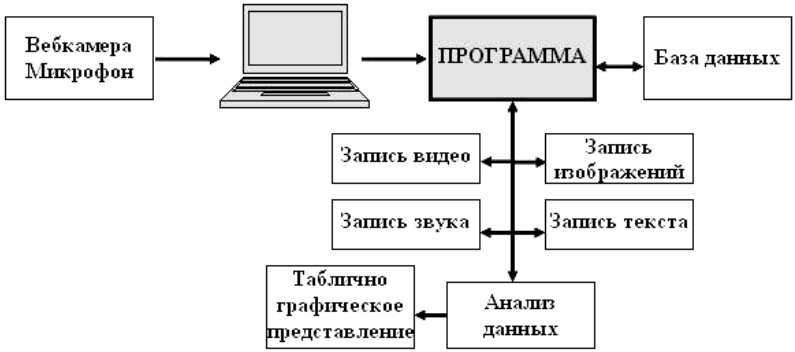
Я.А. Хамаганов, А.В. Басов, А.В. Емельяненко, Д.В. Аникин
ТУСУР, г. Томск, Hundred_C@mail.ru

При медицинском обследовании типичная практика заключается в процессе непосредственного наблюдении и анализа состояния пациента. При этом качество анализа (определение диагноза) зависит от знаний и опыта медицинского работника того или иного направления. В настоящее время достаточно сильно продвинулись технологии по съему и методикам обработки видеоизображений. Стоимость и размеры техники, способной получать качественную видеоинформацию, стали приемлемыми для рядового пользователя. Используя эту ситуацию, нами предлагается в помощь врачу предоставить видео- или веб-камеру, с помощью которой диагностировать некоторые особенности пациента, которые способны сделать диагноз врача более качественным. В докладе обсуждаются: примерная схема эксперимента, состав программно-аппаратного комплекса, применяемые методики и первые результаты.

Типичная методика обследования пациента связана с созерцательной техникой, которая не менялась последние несколько столетий. Точность диагноза, который должен быть вынесен в результате обследования, зависит от знаний и наблюдательности врача. Естественно, что не все врачи могут вынести однозначный и точный диагноз. Предлагаемый нами подход, основанный на применении видеотехники и методик обработки изображений должен позволить врачам подготавливать более точный диагноз.

Методика основана на применении видеокамеры (или веб-камеры) и последующего анализа изображений с помощью соответствующих математических алгоритмов. В основу методики входит запись видеоизображений выполнения некоторых тестовых упражнений пациентом. В программу записи и обработки изображений внесены последовательные команды, которые четко согласованы с врачебной методикой. Информация, которая получается при обработке изображений, является дополняющей медицинский осмотр врача, позволяющей более точно принять соответствующее решение.

Структура программно-аппаратного комплекса представлена на рисунке.



Структура программно-аппаратного комплекса

Кратко поясним основные части структуры программного комплекса. Существуют тестовые упражнения, предназначенные для оценки работы различных групп мышц пациента, которые врач при осмотре предъявляет испытуемому. В соответствии с видом теста, испытуемый локализуется относительно веб-камеры в том или ином месте. Врач фиксирует начало и завершение времени, отведенного для выполнения теста. Во время теста программа, с помощью алгоритмов обработки изображений и последующего анализа переводит поток изображений в значения искомых параметров, которые отображаются в журнале записи. Например, можно зафиксировать параметры фигуры или головы. По мере выполнения каждого теста, разработанный комплекс по видеоизображению оценивает эффективность работы тестируемой группы мышц и присуждает определенное количество баллов, по шкале утвержденной врачом, проводящим осмотр. По мере выполнения всех тестов высчитывается средняя оценка работы всех мышц в целом, результаты и видеозапись упражнений вносятся в электронную карточку пациента. Таким

образом, при следующем осмотре пациента врач сможет просмотреть предыдущие результаты и оценить прогресс или регресс лечения.

Также в предложенном комплексе разрабатывается функция оценки функционирования мышц по видеозаписи ходьбы пациента. Происходит это следующим образом: врач просит пациента пройти по залу определенную дистанцию, а видеокамера фиксирует этот процесс. Далее по имеющемуся видеоизображению комплекс оценивает: время, затраченное на один шаг каждой ногой; угол наклона туловища при ходьбе; траекторию подъема и опускания обеих ног; угол поворота каждой ступни в момент начала и завершения шага; время прохождения пациентом всей дистанции; степень сгибания колена при подъеме ноги; траектории движения рук при ходьбе и т.д. В случае эффективной работы комплекса, данная функция программы позволит врачу исключить из осмотра отдельные упражнения на каждую группу мышц.

Далее по медицинской методике производится анализ психического состояния пациента. В данном направлении комплекс позволяет оценить речь пациента (тембр, внятность, длительность и т.д.), проводить текстовые психологические тесты. Также с помощью специального устройства (графический планшет) проводятся тесты на письменность и рисование, способность обводить простейшие геометрические фигуры. Затем по крупноплановой фотографии лица пациента комплекс позволяет составить два портрета из левых и правых половин лица. По этим двум портретам производится оценка и анализ эмоциональных переживаний пациента. Результаты психологических тестов также заносятся в электронную карту пациента.

Предложенная система должна позволить решать следующие задачи:

1) вести электронный протокол обследования (видеоинформация, звук, табличный и графический вид, текст);

2) фиксировать результаты тестовых упражнений в форме записи видео и звука;

3) анализировать видеоизображения и речевые функции с определением некоторых фиксированных параметров, характеризующих тот или иной тест;

4) позволять анализировать предыдущие посещения, которые фиксировались в графическом и табличном видах;

5) сохранять информацию в специализированной базе данных.

Разрабатываемая нами система в настоящее время базируется на применении веб-камеры, с типичным разрешением 640×480 пикселей с возможностью записывать звук и преобразовывать видеопоток в статические изображения формата BMP. Эта информация является первичной для анализа и определения цифровых характеристик. В настоящее время

нами нарабатываются методики, которые позволили бы перейти от исследовательской фазы к практической фазе применения программы.

На наш взгляд, сочетание традиционных подходов к обследованию, совместно с новыми подходами позволят повысить качество текущего обследования и делать более реалистичные диагнозы, выводы.

STS – SIMPLE TRADE SOLUTION – 3DROOM

Д.Н. Клименко, студент каф. АСУ
ТУСУР, г. Томск

В настоящее время активно развивается технология 3-мерной графики и 3D-анимации, но этот виток развития практически не затронул Интернет. 3-мерная графика была бы чрезвычайно полезна для 3D-музеев, создание виртуальных туров, показа, недвижимости, интерьеров, экстерьеров, создание виртуальных туристических прогулок.

Цель данного проекта сделать технологию 3-мерного сканирования доступной риэлторскими и строительным конторам. На данный момент представление квартир, помещений, и зданий, на просторах Интернета осуществляется в основном с помощью цифровых фотоснимков. Но мир пошел вперед, и еще в 1843 г. был создан панорамный снимок. В наше время эту технологию распространили и для цифрового варианта, и теперь она представляется в Интернете. Но для ее создания требуется обрабатывать фотоснимки существующего здания. Что же делать если здания еще нет, или оно находится в стадии строительства. На помощь приходит объединенная технология фотосъемки, строительных чертежей и 3-мерного моделирования, которая способна воплотить на просторах Интернет площадки еще строящегося здания с возможностью походить по нему, побывать в разных комнатах.

Данная услуга осуществляется с помощью специального программного софта, который занимается склейкой и обработкой кусочков сцены 3-мерной модели, превращения этого в виртуальный тур, сделанный в виде флеш-файла. На данный момент существуют некоторые проблемы обработки, такие как слегка острые углы на стыках, неравномерное освещение, ограничение степеней своды перемещений только вращением в любом направлении. Данная технология активно дорабатывается и имеет большие перспективы в поднятие риелторского бизнеса на новую ступень.

ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЧТЕНИЯ БАЗЫ NETCDF.

К.А. Князев, студент каф. АСУ
ТУСУР, г. Томск, knyz-kir@rambler.ru

В настоящее время важной задачей является обработка и анализ больших объемов экспериментальных данных, характеризующих течение процессов различной природы. Для решения такой задачи создаются различные программные комплексы, однако, как правило, они ориентированы на вполне конкретные, узкие области применения.

Актуальным является создание инструментальной системы, объединяющей в себе многие возможности разработанных ранее систем и расширяющей их за счет ориентации не на отдельную предметную область, а на широкий класс так называемых «плохо формализованных» процессов.

Ключевым моментом в работе с «плохо формализованными» процессами является накопление большой статистики их поведения с последующим анализом, используя данные баз SRTM поверхностей, LT-Land Types типы поверхностей.

Основной тип данных, для работы с которым предназначена Система, это *многопараметрический временной процесс*.

Пусть задана временная сетка T: $t_0, \ldots, t_{N-1}$. В данном случае мы будем рассматривать период с 01.01.2005 по 31.12.2005. Тогда *многопараметрический временной процесс* представляется вектором своих параметров $P(t) = (p_0(t), \ldots, p_{M-1}(t))$, каждый из которых есть функция, заданная на сетке T.

Помимо собственно значений параметров процесса в определенные моменты времени, процесс в целом может характеризоваться рядом величин (например, принадлежностью процесса к тому или иному классу) вычисленных по процессу статистическими данными и т.п.

Требование к формату данных, используемому Системой для внутреннего хранения: он должен быть достаточно *гибок* для представления разнообразной информации и в то же время *эффективен* для обработки в первую очередь именно временных процессов.

Желательно, чтобы формат данных был *распространен* в научном сообществе, что улучшит совместимость Системы с другими разработками.

Важная особенность данных состоит в их потенциально большом объеме. Специфика применяемых в Системе вычислительных методов состоит в том, что для их работы зачастую требуется накопленная статистика поведения процессов. Речь может идти о десятках гигабайт информации, что не позволяет организовать ее централизованное хранение.

Помимо собственно *научных данных*, о которых шла речь выше, возникает необходимость в хранении *служебной информации*. К ней относятся атрибуты и метаданные. В отличие от научных данных, эта информация имеет небольшой объем, но более сложную структуру. Кроме того, служебная информация используется постоянно и должна поэтому быть легко и быстро доступной.

На основании анализа ряда распространенных универсальных форматов (CDF, netCDF, HDF и XSIL) для использования в качестве внутреннего формата данных Системы был выбран формат netCDF (network Common Data Form). Он разработан в рамках программы Unidata Университетской корпорации по атмосферным исследованиям (University Corporation for Atmospheric Research, UCAR).

Литература

1. The NetCDF Users Guide. Data Model, Programming Interfaces, and Format for Self-Describing, Portable. Data NetCDF Version 3.6.2.
2. The NetCDF C++ Interface Guide. Class Documentation. Version 3.6.2.
3. The NetCDF Tutorial. NetCDF the Easy Way. NetCDF Version 3.6.2.

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДАННЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ

С.В. Корытников, аспирант каф. АСУ
ТУСУР, г. Томск, ksv@asu.tusur.ru

На кафедре АСУ ТУСУР под руководством профессора М.Ю. Катаева и доцента И.В. Бойченко был разработан комплекс программ для решения задач аэрокосмического мониторинга системы Земля.

Первоочередной задачей является проведение замкнутого численного эксперимента, с целью выявления потенциальных возможностей спутникового мониторинга в зависимости от различных комбинаций характеристик аппаратуры и внешних условий. Так, например, выявляется чувствительность регистрируемого на борту спутника сигнала к температуре атмосферы и к погрешности спектрометрической информации.

В действительности, осуществляется моделирование реального облета космического аппарата вокруг Земли и решение прямой задачи для каждой точки траектории. Поэтому следует отметить, что отсутствие параллельности в расчетных модулях при моделировании данных аэрокосмического мониторинга является критической проблемой. За один оборот вокруг Земли спутник успевает зарегистрировать до 13000 точек.

В настоящее время расчет всего алгоритма для одной точки, с использованием конкретно подобранных программных модулей, на однопроцессорной ЭВМ с частотой процессора 3 ГГц составляет около 30 мин. Поэтому для обработки всех точек траектории возникла необходимость в организации распределенных вычислений.

Важными компонентами программного комплекса является множество программных модулей сторонних разработчиков (научных сообществ), написанных преимущественно на языках Fortran и C. При создании комплекса программ необходимо было решить техническую задачу сопряжения разработанных ранее модулей с системой. Типовым блоком в прямых задачах оптики атмосферы является блок переноса излучения (ПИ) в атмосфере. Блок ПИ является наиболее ресурсоемким и в условиях массовых расчетов необходимо оптимизировать работу ПО для сокращения времени вычислений.

Оптимизация ПО для сокращения времени вычислений может быть осуществлена с использованием одной из моделей параллельных вычислений, а именно, с использованием параллелизма данных. Для решения прямой задачи оптики атмосферы приходится применять один и тот же алгоритм ко всем точкам траектории, и поэтому распределение вычислений по данным является эффективным способом увеличения производительности ПО, так как не требуется вносить изменения в платформозависимый код, для адаптации к каким-либо технологиям параллельного программирования.

Программная среда RAD, как часть программного комплекса, создавалась с целью объединения разрозненных закрытых программных модулей в группы, посредством описания входных/выходных данных и возможностью преобразования данных из одного формата в другой. Это позволило объединить несколько этапов моделирования с использованием конкретного модуля в одну целую последовательность.

Для организации параллельной обработки данных была разработана система управления заданиями в распределенной среде. Такое программное обеспечение получило название SimGESS и является упрощенной реализацией Grid-среды. Особенностью такой системы является отсутствие необходимости в переписывании существующего программного кода для адаптации к существующим параллельным технологиям типа MPI. Основной подход такой системы – параллелизм по данным. SimGESS является кросс-платформенной программной системой, выполненной с использованием технологии Java, т.е. представляет собой переносимый программный пакет. Это позволяет разворачивать систему управления, как на персональных компьютерах, так и на специализированных кластерных системах, находящихся под управлением различных операционных систем.

Распределенная система моделирования данных аэрокосмического мониторинга системы Земля была апробирована на группе персональных ЭВМ (учебные компьютерные классы). В настоящее время осуществляется тестирование системы на базе кластера кафедры АСУ, состоящего из 8 вычислительных узлов (по 2 двухядерных процессора на узле с тактовой частотой ядра – 2 ГГц, суммарный объем оперативной памяти – 64 Гб) и пиковой производительностью > 600 GFLOPS.

АЛГОРИТМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛИЦ НА ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

А.С. Котов, студент каф. АСУ
ТУСУР, г. Томск

Метод состоит из следующих этапов:

1) выделение областей цвета кожи на изображении;
2) преобразование полученных областей с помощью операций бинарной морфологии;
3) выделение контуров объектов в полученных на предыдущем этапе областях;
4) поиск среди полученных контуров таких, которые могут являться контурами лица.

Существует несколько групп методов цветовой сегментации кожи.

1. *Априорные методы.* К группе априорных относятся методы, которые в качестве модели цвета кожи используют явно заданный многогранник в заданном цветовом пространстве, т.е. заранее задается некоторый жесткий набор правил.

2. *Непараметрические методы.* Основная идея таких методов состоит в том, что при оценке распределения цвета кожи на основе тренировочных данных не используется явная модель цвета кожи. В результате конструируется *вероятностная карта кожи* – каждому значению цвета в дискретизованном цветовом пространстве ставится в соответствие вероятность принадлежности этого цвета коже.

2.1. Нормализованная таблица частот (LUT).

2.2. Классификатор Байеса – более совершенный метод, использующий моделирование цвета кожи с помощью двух таблиц частот. Вероятность принадлежности цвета коже определяется по формулам.

3. *Параметрические методы.*

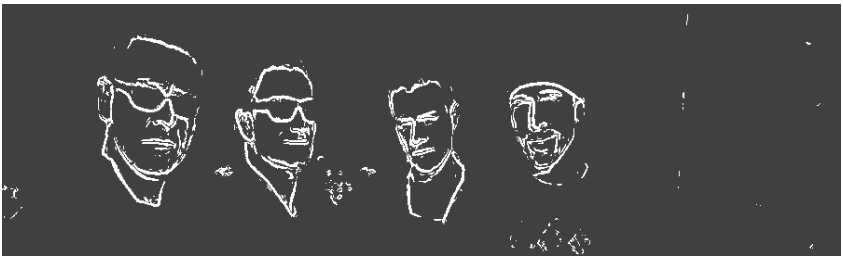
3.1. Моделирование с помощью нормального распределения. Предлагается моделирование распределения цвета кожи с помощью нормального распределения.

3.2. Моделирование с помощью смешения нормальных распределений. Количество компонент может различаться, но для построения корректной модели распределения цвета кожи в пространстве rg (нормализованном пространстве RGB) достаточно двух компонент.

3.3. Эллиптическая модель была призвана улучшить результаты применения нормального распределения. Авторы заявляют, что эллиптическая модель приближает цвет кожи лучше, чем нормальное распределение, так как ориентация эллипса не влияет на определение центра распределения. Результатом данного этапа является бинарное изображение, в котором белые пиксели соответствуют областям цвета кожи.

3.3.1. Первый метод поиска эллипсов. Идея метода состоит в следующем. Создается аккумулятор, представляющий собой матрицу счетчиков, размеры которой соответствуют размерам обрабатываемого кадра. Задаются размеры главной и побочной осей эллипса. Для каждой точки кадра, используя данные о направлении градиента и размерах осей, находятся предполагаемые координаты центра эллипса. Значение счетчика, соответствующее найденной точке, увеличивается на единицу. В аккумуляторе ищутся счетчики, значение которых превышает пороговое. Это и будут центры эллипсов.

Оригинальное изображение



Выделение контуров в областях цвета кожи после морфологической обработки

УМЕНЬШЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ВЫХОДЕ ДЕКОДЕРА MPEG2

Н.В. Ковалев, студент
ТУСУР, г. Томск

Большие объемы данных, требующих индексации, обуславливают большую длительность процесса построения индексов. Одним из способов ускорения процесса индексации является уменьшение входных данных. Именно для этого решалась задача уменьшения изображения на выходе декодера в 64 раза.

Задача решалась в 2 этапа:

1 этап – отказ от IDCT (Обратное дискретное косинусное преобразование). Большинство декодеров тратят на IDCT около 10% времени декодирования. Вместо полного декодирования восстанавливались только главные (DC) коэффициенты, которые представляют собой среднее значение яркости или цветовой разницы в соответствующих блоках.

2 этап: уменьшение. Был изменен алгоритм реконструкции (P и B) кадров. Грубо говоря, однородные блоки (8×8) полученные после первого шага превращаются в 1 пиксель.

Пиковое отношение сигнала к шуму (англ. peak signal-to-noise ratio) обозначается аббревиатурой PSNR и является инженерным термином, означающим соотношение между максимумом возможного значения сигнала и мощностью шума, искажающего значения сигнала. Поскольку многие сигналы имеют широкий динамический диапазон, PSNR обычно измеряется в логарифмической шкале в децибелах.

Временные результаты декодирования

Название видео	Размер видео (байт)	Продолжительность	Время полного декодирования (секунды)	Время декодирования по DC коэффициентам (секунды)	Ускорение (%)
test1	401 606 075	11:38	192,187	104,062	45,85
test2	405 442 515	13:20	191,484	102,532	46,45
test3	406 982 500	14:25	177,907	98,19	44,81
test4	403 511 074	15:45	199	104,53	47,47
test5	401 255 790	11:20	196,063	103,047	47,44
test6	400 522 531	16:48	190,781	102,281	46,39
test7	402 622 399	17:53	198,359	106,688	46,21
test8	417 517 134	11:50	203,234	107,437	47,14
test9	413 816 576	24:23	167,687	92,14	45,05
test10	423 292 600	12:15	210,91	112,375	46,72
				Среднее	46,35

PSNR наиболее часто используется для измерения уровня искажений при сжатии изображений. Проще всего его определить через среднеквадратичное отклонение (MSE), которое для двух монохромных изо-

бражений I и K размера $m \times n$, одно из которых считается зашумленным приближением другого.

Среднее ухудшение величины PSNR на исследованных изображениях не превышает 1%. Задача решалась на декодере (mpeg2) с открытыми исходниками.

СИСТЕМА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГОЛОВЫ НА ВИДЕОКАДРАХ

О.А. Кривцов, аспирант

ТУСУР, г. Томск, olegkrivtsov@mail.ru

Для реализации автоматизированной системы анимации лица человека, основанной на анализе видео с веб-камеры в реальном масштабе времени, требуется использовать алгоритмы анализа мимики лица. Подобные алгоритмы накладывают ограничения на положения головы (она должна быть повернута практически фронтально к камере), чего сложно добиться в реальных условиях съемки. Решить эту проблему можно путем создания программного модуля для определения пространственного положения головы на каждом кадре и синтеза стабилизированного изображения лица, инвариантного к поворотам и перемещениям головы.

Основа для реализации программного модуля – библиотека OpenCV на языке C, что обеспечивает переносимость на различные программные платформы. Язык C позволяет создавать быстрый код.

Существуют подходы, основанные на построении модели головы и отслеживании ее перемещения путем сопоставления изображения головы и ее модели. Исследователями предложены различные модели головы [1, 2]. Для реализации выбран метод [1], имеющий невысокую вычислительную сложность и позволяющий получить стабилизированное изображение головы пользователя.

В задаче отслеживания пространственного перемещения головы можно выделить 2 подзадачи (см. рисунок).

Прямоугольная область проекции головы на первом кадре (обозначим ее через $\Omega = (p_{x1}, p_{y1}, p_{x2}, p_{y2})$) может задаваться либо вручную, либо определяется 2D детектором лица. Мы используем детектор Viola-Jones, реализованный в OpenCV. Однако очевидно, что для полностью автоматической инициализации модели этого недостаточно. Детектор зачастую выдает не совсем точные координаты области лица, что очень негативно сказывается на качестве отслеживания перемещения модели. Требуется использование дополнительных методик для более точной

инициализации модели, что является предметом для дополнительных исследований.

а *б*

а – инициализация модели;
б – отслеживание межкадрового перемещения модели

Еще одна проблема при использовании веб-камеры возникает из-за того, что видео некалиброванное и параметры камеры неизвестны. Выбранный метод [1] требует в качестве входных данных задать пространственную конфигурацию головы на первом кадре

$$\vec{c}(t_0)=(X_0,Y_0,Z_0,\alpha,\beta,\gamma)\,, \qquad (1)$$

где X_0, Y_0, Z_0 – координаты центра цилиндра; α,β,γ – углы наклона модели относительно осей *X*, *Y* и *Z* соответственно.

Мы предлагаем выбирать параметры из следующих соображений. Вертикальный размер лица возьмем h = 0,2 м (средний размер), начальное расстояние до монитора d = 0,5 м (интуитивно удобное для наблюдения себя в веб-камере). Считаем, что изначально голова повернута фронтально к камере. Тогда фокальная длина объектива $f_L \approx pd/h$. Это определение f_L остается справедливым лишь при незначительных отклонениях головы пользователя от заданного расстояния *d*. При сделанных предположениях формула (1) запишется в виде $\vec{c}(t_0)=\left(\frac{u_0 d}{f_L},\frac{v_0 d}{f_L},d,0,0,0\right)$, где (u_o,v_o) – координаты центра области проекции Ω.

Так как при изменении освещенности различных частей головы и при перемещении и вращении головы интенсивность пикселей шаблона меняется, требуется периодически обновлять шаблон. Если обновлять шаблон слишком часто, то происходит быстрое накопление ошибки. Поэтому в настоящее время мы проводим исследование, чтобы выявить наиболее подходящую частоту обновления шаблона.

Если в процессе минимизации ошибки по области Ω участвуют все пиксели шаблона, количество вычислений будет пропорционально его площади. Скорость работы метода может скачкообразно увеличиваться при удалении головы от камеры и уменьшаться при приближении. Мы используем гистограмму весов пикселей для отбора K лучших пикселей, по которым и будет идти минимизация ошибки. Пройдя в цикле по всем пикселям шаблона, мы строим гистограмму, в i-ом столбце которой содержится количество пикселей с весами w в интервале $(w, w+\Delta w)$. Устанавливая минимальный порог для веса пикселя таким, чтобы в выборку попадало не более K пикселей, мы добиваемся фиксированной скорости работы при различных площадях шаблона.

Предложенный в [1] критерий останова итеративного процесса минимизации $\|\Delta\mu\| < \varepsilon$ (где $\Delta\mu$ – вектор параметров) не всегда эффективен, так как реальная форма головы не является идеальным цилиндром. В экспериментах около 60% итераций оказались лишними, так как на них начинались пилоподобные осцилляции. Мы используем дополнительный критерий, позволяющий отбросить ненужные итерации. Пусть D_i – значение дисперсии ошибки на i-й итерации, а $D_{\min}$ – минимальное значение дисперсии на всех итерациях. Тогда выход из цикла производится, если $D_i \geq D_{\min}$ в течение N итераций подряд (в наших экспериментах $N = 5$).

Таким образом, разрабатываемый программный модуль отслеживания головы на некалиброванном видео является входным модулем автоматизированной системы анимации головы. Для цилиндрической модели головы и метода [1] аппроксимации перемещения головы предложен способ задания начальных параметров модели, способ отбора лучших пикселей шаблона и критерий останова для процесса минимизации. На выходе программы получается стабилизированное изображение головы, являющееся входными данными для модуля анализа мимики лица. Остаются и пока нерешенные проблемы: требуется определить наилучшую частоту обновления шаблона, улучшить качество автоматической инициализации модели. К настоящему времени на процессоре Pentium IV 3Ghz программа работает в среднем со скоростью 15 кадров в секунду. Демонстрационная версия программы доступна по адресу http://olegkrivtsov.googlepages.com/home.

Литература

1. *Xiao J. et al*. Robust Full-Motion Recovery of Head by Dynamic Templates and Re-registration Techiques. Proc 5-th IEEE FG'02, 2002.

2. *Bottino A.* Real-time Head and Facial Features Tracking from Uncalibrated Monocular Views. Proc. 5-th Asian Conf. on Computer Vision, 2002.

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА УДАЛЕННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

П.А. Пяк, Д.И. Кузнецов, Р.И. Уколов, студенты 3-го курса;
науч. рук. М.Ю. Катаев, д.т.н., проф. каф. АСУ ТУСУР
ТУСУР, г. Томск, ppa@sibmail.com;
«Кузбассавтодизель», г. Новокузнецк,

Используя информационно-управляющие системы, любое предприятие может повысить эффективность, скорость, а также контроль выполнения процессов, протекающих в данном предприятии, что косвенным образом сказывается на эффективности работы предприятия. Поэтому информационно-управляющие системы являются ступенью на пути к успеху и процветанию предприятия.

Перед нашей группой, участвующей в ГПО, стоит задача проектирования и реализации распределенной автоматизированной системы управления предприятием «Кузбассавтодизель». В ходе проектирования было выделено три аспекта разработки. Это интерфейсная часть, распределенная система и редактор бизнес-процессов предприятия (с привязкой к экономике предприятия).

В процессе проведенной нами работы были выработаны общие требования, разработана концепция будущей системы (понимание того, как должна выглядеть система в глазах пользователя, описание объектов программы, разделение частей клиент-сервер).

В данный момент наша группа занимается проектированием интерфейса конечного пользователя, а также завершением проектирования клиент-серверных частей (в частности разграничений полномочий пользователя).

В части КЛИЕНТ будет находиться интерфейс пользователя, шаблоны документов. Шаблоны было решено хранить на КЛИЕНТе, для того чтобы уменьшить сетевой трафик.

В части СЕРВЕР будет храниться база данных документов организации (физически существующие документы, а также шаблоны), сотрудников и их уровней доступа.

На случай сбоя питания или других технических неполадок, в конце рабочего дня будет производиться резервное копирование баз данных на компьютер администратора системы.

Схема клиент-серверной части приведена на рисунке.

Также на данном этапе работы нашей группой реализуется интерфейс конечного пользователя. Идет сбор шаблонов документов и процессов предприятия для дальнейшего анализа и реализации редактора, который позволит создавать новые шаблоны документов для введения в оборот на предприятии.

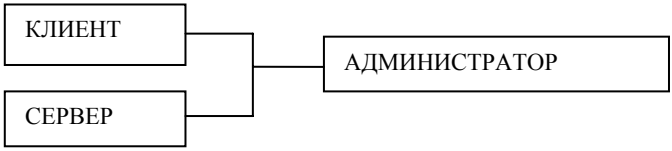


Схема «клиент-сервер»

В перспективе намечается анализ процессов и выбор конкретных алгоритмов реализации программного продукта, а также доработка механизма мониторинга состояния бизнес-процессов, что позволит наглядно отображать для конечного пользователя состояние процесса на данный момент, а также при появлении задержки или досрочного выполнения, фамилию, имя, отчество конкретного работника предприятия, ответственного за данный инцидент.

В качестве метода разделения полномочий был выбран «логин-пароль», как наиболее подходящий в соотношении простоты использования, экономии ресурсов, эффективности защиты. В процессе анализа работы предприятия было выявлено три категории доступа, к которым может относиться работник данного предприятия. Для каждого работника предприятия доступно использование возможностей системы согласно уровню доступа категории, к которой он относится.

Основная часть проекта реализуется на языке C#. Вероятно в качестве «клиент-серверной» части будет взят готовый бесплатно распространяемый программный продукт и интегрирован в реализуемую нами систему.

ПОДСИСТЕМА АРХИВИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

А.В. Лежанкин, аспирант каф. АСУ
ТУСУР, г. Томск, lanmails@ms.tusur.ru

В настоящее время в связи с ростом промышленности, численности населения и других антропогенных факторов воздействия на окружающую среду все большее значение приобретаетм мониторинг состояния поверхности Земли и атмосферы. Имеется множество различных методов наблюдения, однако среди них можно выделить дистанционное спутниковое зондирование как метод, позволяющий производить комплексное исследование нашей планеты в различных спектрах излучения. Двигаясь по орбите, спутник производит измерение сигнала с определенными временными интервалами, что порождает поток данных, в

основном представляющих собой матрицы чисел. Подобные данные являются крайне неинформативными, а также требуют создания определенного хранилища, которое бы позволило их систематизировать и предоставлять механизмы выборки для дальнейшей обработки данных.

Однако не всегда имеется возможность осуществления непосредственной спутниковой съемки. Поэтому в настоящее время разрабатывается ряд программ, моделирующих спутниковое зондирование. Подобное программное обеспечение предназначено для проведения численных экспериментов, позволяющих предсказать поведение сигнала, полученного аппаратом в зависимости от условий работы. Полученные в результате подобного эксперимента данные могут использоваться для внесения корректировок в сценарий будущего реального эксперимента. Например, в случае неудовлетворительных показаний может быть принято решение об использовании другого измерительного оборудования, других параметров съемки.

На кафедре АСУ под руководством М.Ю. Катаева и И.В. Бойченко ведется разработка подобной системы. В связи с большими объемами информации, обрабатываемой системой, была использована параллельная модель обработки с разделением по данным. Однако в этом случае мы получаем набор частичных результатов (данные, рассчитанные для одной точки или участка траектории), в связи с чем возникает проблема их объединения и совместного анализа. Поэтому и появилась необходимость создания некоего хранилища для результатов моделирования спутникового зондирования.

Одним из важных аспектов визуализации данных является выбор пространства, в которое данные будут спроецированы. Особенностью задачи является географическая привязка данных, т.е. привязка к координатной системе либо объектам на поверхности земли. Поэтому для отображения, осуществления выборок из полученных данных необходимо использовать методы геоинформационных систем. В сущности, эти методы характерны тем, что выделяется некий базовый примитив (точка, полигон), который может быть уникальным образом идентифицирован на поверхности Земли. Данные же определяются как атрибуты этого примитива.

Этот метод обладает высокой наглядностью, поскольку позволяет без труда осуществлять картографирование данных. Однако проблема возникает, когда атрибутами мы имеем многомерные матрицы. В этом случае использование ГИС-подходов затрудняет анализ данных, так как атомарной единицей выборки является базовый примитив, а следовательно, при выборке мы получаем его атрибуты целиком.

Таким образом, необходима система хранения, позволяющая при сохранении геопространственной привязки оперировать с данными не на уровне атрибутов, а на уровне элементов атрибутов. Было принято решение найти или разработать более эффективный формат для хранения данных наблюдений Земли (в том числе обеспечивающий географическую привязку) и применить его к задачам аэрокосмического мониторинга.

Решением стало использование формата netCDF, ключевыми особенностями которого являются:

1. самоописание данных;
2. сжатие данных;
3. возможность использования многомерных массивов;
4. наличие механизмов выборки и обработки подмножеств данных на уровне элементов массивов.

Пространственно-временная привязка данных осуществляется на уровне логики программы, обрабатывающей данные, а не на уровне файла.

В результате была создана система, позволяющая:

1. Осуществлять конвертацию результатов моделирования в ГИС-формат ESRI Shapefile. Это позволяет легко представить данные в виде карты с использованием любой ГИС-системы, поддерживающей соответствующий формат, однако ведет к потере ряда многомерных атрибутов;
2. Осуществлять конвертацию результатов моделирования в формат netCDF, что позволяет осуществлять как визуализацию данных (однако с меньшей степенью наглядности, нежели ГИС), так и их дальнейшую обработку.

Подсистема была реализована в двух видах:

1. плагин к среде Eclipse, использующий графический интерфейс для настройки;
2. независимое консольное приложение, использующее готовые конфигурационные файлы.

ПРОГРАММНЫЙ СИМУЛЯТОР САМОЛЕТНОГО МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОМЕТРА

А.В. Лончин, А.Г. Чугунов, аспиранты каф. АСУ;
К.А. Князев, А.П. Макрушин, А.Е. Наймушин, студенты каф. АСУ
ТУСУР, г. Томск, Lonchin@mail.ru

История применения микроволновой радиометрии в дистанционном зондировании поверхности Земли насчитывает более трех десятилетий.

В наши дни спутниковая микроволновая радиометрия развита широко и обеспечивает на регулярной основе круглосуточное получение в глобальном масштабе информации о ключевых гидрометеорологических параметрах атмосферы, таких как скорость ветра над океаном, влагосодержание атмосферы и водозапас. Однако спутниковая информация не позволяет пространственно детально исследовать участки местности. Для этих целей привлекаются приборы, которые установлены на самолетах. Нами разрабатывается программный симулятор микроволнового радиометра, установленного на самолете. На рисунке приведена типичная траектория полета измерительного устройства на самолете, позволяющая охватить измерениями достаточно большую площадь территории, за достаточно малое время, по сравнению с наземными измерениями.

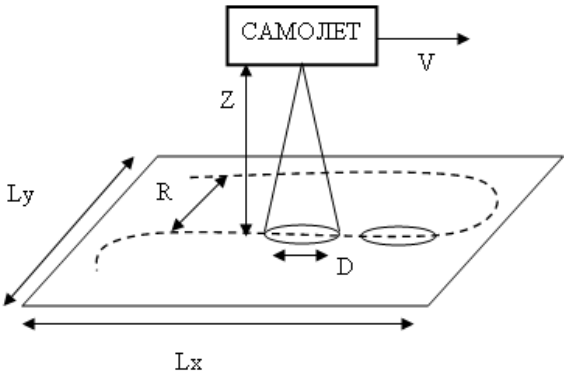


Схема проведения самолетных измерений

Проведение измерений осуществляется с борта самолета, который летит над поверхностью Земли на высоте Z, со скоростью V. Поле зрения прибора позволяет покрывать на поверхности Земли площадь диаметром D. Самолет проводит измерения на площади размером (L_xxL_y) километров. Облет площади ведется по зигзагообразной траектории, одна сторона которой параллельна на каждом витке полета стороне L_x. Расстояние между витками составляет расстояние R. Такой полет позволяет за время полета покрыть измерениями большую площадь. Процесс измерений определяется техническими характеристиками измерителя: полем зрения приемной антенны, чувствительностью детектора, временем измерения и накопления.

Целью данного проекта является разработка системы моделирования сигнала радиометра в диапазоне 1–300 ГГц с учетом реального рельефа и реальной метеорологической информации. Главным отличием про-

граммы от имеющихся аналогов является комплексный подход к решению проблемы. Для моделирования сигнала используется большой объем априорной информации разного плана. К такой информации мы относим:

1. Информацию о поверхности в интересующей точке в заданное время: рельеф (угол отражения солнечной радиации, влияющей на прибор, затенение обозреваемого участка, тип подстилающей поверхности).

2. Состояние атмосферы над исследуемым участком поверхности.

Для реализации первого пункта используются следующие источники данных:

• Рельеф местности строится по данным глобальной базы SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), в которой содержатся абсолютные высоты превышений над уровнем моря. База данных поставляется в двух вариантах, различающихся пространственным разрешением: возможны значения 1 км и 90 м. Использование этой базы данных позволяет рассчитывать затенение и угол отражения сигнала.

• Тип поверхности. Выбирается по данным GLC2000, имеющей в своем составе более 30 различных типов поверхности.

Второй пункт представлен данными, накопленными различными метеорологическими организациями. Одной из самых распространенных на сегодня спектроскопических баз данных является база HITRAN, в которой содержится информация о спектроскопических параметрах линий поглощения атмосферных газов (H_2O, CO_2, CH_4 и др.). Эти данные позволяют узнать, например, влажность для различных моментов времени (обычно градация по сезонам, временам года) и для определенной высоты над уровнем моря.

При учете всех вышеупомянутых показателей мы получаем очень точную модель излучений земной поверхности в заданном спектре. Используя эту модель для сравнения с данными, полученными экспериментальным путем, мы можем выделять различного рода аномалии, присутствующие в них. Такой способ может быть использован для поиска различных природных и техногенных объектов на поверхности Земли, что также имеет большое значение для отраслей науки и промышленности, в которых необходим мониторинг окружающей обстановки на больших территориях.

Литература

1. *Thomas A.R, Sanjay D.F.* Evolution of active and passive gas imagers for Transmission Pipeline Remote Leak Detection // Applied Optics. 1998. V. 53. N. 6. P. 133–137.

2. *Тонков М.В.* Фурье-спектроскопия – максимум информации за минимум времени // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7. № 1. С. 83–88.

3. *Rothman L.S., Scott N.A. Sinitsa L.N.* Joint service lightweight standoff chemical agent detector // Optics Letters. 1999. Vol. 53. P. 313–322.

4. *Wiley John*. Toxic cloud by infrared spectrometry // Field analytical chemistry and technology, 2000. V. 5. P. 75–90.

5. *Таненбаум Э.* Компьютерные сети. 4-е изд. СПб.: Питер, 2003. 992 с.

6. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. шк., 2004. 479 с.

7. *Старк Г.* Применение методов Фурье-оптики: Пер. с анг. М.: Радио и связь, 1988. 536 с.

8. *Beil A., Daum R., Matz G., Harig R.*, Remote sensing of atmospheric pollution by passive FTIR spectrometry // Spectroscopic Atmospheric Environmental Monitoring Techniques. 1998. Vol. 32. P. 32–45.

9. *Хинкли Э.Д. и Зуева В.Е.* Лазерный контроль атмосферы. М.: Мир, 1979. 416 с.

10. *Межерис Р.* Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. 550 с.

11. ftp://e0spr01u.ecs.nasa.gov/srtm

12. http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.asp

АЛГОРИТМЫ ИНДЕКСАЦИИ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

А.К. Лукьянов, студент каф. АСУ

ТУСУР, г. Томск

В настоящий момент накоплена огромная база видеоматериалов различных видов: фильмы, музыкальные клипы, рекламные ролики и т.д. В связи с этим встала проблема содержательного поиска в видеопоследовательности. Данный доклад представляет материал по разработке и реализации приложения, позволяющего осуществлять поиск по заданной пользователем части видеопоследовательности ее полной версии, содержащейся в базе видеоматериалов. Данное приложение может найти применение в таких задачах, как: 1) отыскание полной версии видеоматериала по предоставленному пользователем отрывку, возможно, записанному с телевизора при помощи сотового телефона, фото- или видеокамеры; 2) контроль показа определенных рекламных роликов, т.е. определение количества показов в заданный временной интервал.

Для индексирования нами предлагается производить разбиение кадра на приблизительно равные по площади области, каждая из которых имеет свой диапазон яркости. Количество таких областей задается заранее. Далее для каждой области проводят процедуру удаление тонких перешейков и подсчет несвязанных друг с другом пятен, из которых состоит эта область и площадь которых больше заданной. В индекс записывается подсчитанное количество пятен для каждой области.

Разбиение на три области для кадра размером 480×320

Определение смены сцены без истории

По различию количества пятен в областях между двумя кадрами можно судить о том, произошла ли смена сцены или нет. Если по расчетам смена сцены произошла, то в индекс пишется время в миллисекундах, прошедшее от предыдущей смены сцены.

Определение смены сцены с историей

Здесь поиск смены сцены осуществляется по особенностям изменения количества пятен в количестве кадров равном длине истории, которая задается заранее. Если по расчетам смена сцены произошла, то в индекс так же пишется время в миллисекундах, прошедшее от предыдущей смены сцены.

Для исходной картинки индекс равен 9 12 6.

Для картинки с уменьшенной на 51 яркостью индекс равен 9 13 6.

Для картинки с увеличенной на 51 яркостью индекс равен 8 11 6.

Для картинки с уменьшенной на 51 контрастностью индекс равен 8 12 7.

Для картинки с увеличенной на 51 контрастностью индекс равен 10 13 6.

Для картинки с увеличенной на 51 яркостью и контрастностью – 10 13 7.

Для картинки уменьшенной в 8 раз – 8 11 7.

МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗЕМНОГО РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ SRTM И GLCC

М.Н. Макрушин, студент каф. АСУ
ТУСУР, г. Томск, Maksim-Makrushin@rambler.ru

На данное время накоплены большие объемы спутниковых данных описывающих поверхность Земного рельефа. В связи с этим появляется необходимость в программных средствах позволяющих визуализировать модельное представление Земной поверхности в форме удобной для восприятия человеком. Большинство научных разработок позволяет проводить отдельные расчеты для фиксированных значений координат на поверхности Земли. В некоторых приложениях необходимо учитывать произвольную точку земной поверхности и знать некоторые свойства поверхности Земли. Для решения этих задач нами разработано программное приложение, которое позволяет читать и визуализировать поверхность земли с учетом свойств поверхности. Для этих целей нами применяются такие известные во сем мире базы данных, как SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) и GLC 2000 (Global Land Cover mapping for the year 2000 Project).

Принципиально он включает понятие экосистемы как среды обитания, т.е. набор типов местообитаний, подчиненных определенной иерархии, имеющей типологическую природу. Глобальная структура включает трехуровневое описание типов экосистем.

Высший уровень иерархии автоматически подразумевает, что все типы местообитаний перечисленные на низшем уровне ему подчинены. Эта классификация местообитаний принята Комиссией по выживанию видов Международного союза охраны природы – МСОП (SSC/IUCN) в качестве стандартной системы для описания глобальных типов местообитаний таксонов, внесенных в Красный список МСОП (IUCN Red list) и Информационную службу видов (SIS). В настоящее время данная классификационная система во многих странах дорабатывается с учетом региональной специфики.

База данных GLCC физически представляет собой файл, содержащий в себе двумерный массив байт, строки которого идут по порядку друг за другом, а каждая его ячейка содержит код типа покрова доминирующего в данной точке.

В процессе работы над проектом были решены следующие задачи:

1) изучен принцип визуализации трехмерной поверхности;

2) изучены форматы данных по земной поверхности и типам земной поверхности;

3) разработаны дополнительные алгоритмы для придания сцене реалистичности (алгоритм для наложения текстур, алгоритмы построения теней, алгоритмы построения облаков и др.);

4) разработана схема визуализации трехмерной поверхности и дополнительных алгоритмов;

5) изучены принципы размещения трехмерных объектов и способы моделирования движения;

6) написана программная реализация визуализации трехмерной поверхности и дополнительных алгоритмов.

Для решения данной задачи используется графическая библиотека DirectX. DirectX – это мультимедийная библиотека, позволяющая напрямую работать с аппаратным обеспечением компьютера в обход традиционных средств платформы Win32. Тесное взаимодействие DirectX и оборудования с драйверами, написанными производителем данного оборудования, дают возможность полностью отвлечься от аппаратной части и сосредоточить свое внимание на создании правильного кода. Благодаря этим возможностям библиотеки будет обеспечена возможность переносимости программы на компьютеры с различной конфигурацией оборудования. В связи со способом решения задачи возникают следующие требования к системе.

Необходимы такие источники данных:

1) SRTM – базы данных высотных отметок;

2) LandTypes – базы данных о типах почв;

3) Textures – наборы файлов фототекстур соответствующих типам поверхностей.

Предполагается, что эти данные будут передаваться модулю визуализации внешней управляющей программой. Сейчас проект как раз находится на стадии разработки интерфейсов, по которым и будет осуществляться управление модулем. В то же время на данном этапе программа может функционировать самостоятельно, на уровне файлов, для этого разработан режим настройки с помощью файлов конфигурации.

Кроме наборов данных для функционирования программы необходимы следующие программно-технические системы:

1) должен быть установлен DirectX версии 9.0;

2) должна быть установлена видеокарта с поддержкой пиксельных и вертексных шейдеров, если их нет, то программа будет запускаться в режиме пониженного качества изображения, когда информация о типах поверхностей на ландшафте обозначается цветом.

Модель поверхности строится на основе двухмерной карты высот. При построении используется текстурная карта поверхностей, описывающая типы возможных поверхностей. На каждую ячейку матрицы

поверхности растягивается часть текстуры, соответствующей типу поверхности локализованной в данной ячейке матрицы-карты. В дальнейшем ячейки матрицы объединяются в блоки размером от 8×8 до 128×128 (в зависимости от режима детализации) ячеек и отправляются на рендеринг видеокарты, как один целый объект. Данные блоки могут анализироваться на предмет их видимости или невидимости и отправляться на рендеринг в зависимости от этого. Каждый блок представляет собой секцию, которая может быть отображена с различной степенью детализированости, которая определяется расстоянием от наблюдателя и степенью сложности самого участка ландшафта. Эти операции позволяют оптимизировать производительность системы.

В ходе данной работы были изучены принципы визуализации трехмерной поверхности, изучены форматы данных по типам земной поверхности, дополнительные алгоритмы для придания сцене реалистичности (алгоритм для наложения текстур, алгоритмы построения теней, алгоритмы построения облаков и др.), разработана схема визуализации трехмерной поверхности, изучены принципы размещения трехмерных объектов и способы моделирования движения. В результате разработано приложение, позволяющее визуализировать ландшафты земной поверхности.

Литература

1. *Грег Снук*. Создание 3D-ландшафтов в реальном времени с использованием C++ и DirectX 9: Пер. с англ. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2006. 368 с.

2. «*Introduction* to 3D GAME Programming with DirectX 9.0» Frank D. Luna / 2003 Wordware Publishing Inc.

3. *Горнаков С.Г.* Инструментальные средства программирования и отладки шейдеров в DirectX и OpenGL. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 256 с.

ПРОГРАММА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕТА САМОЛЕТА В 3D ПРОСТРАНСТВЕ»

А.Е. Наймушин, студент каф. АСУ

ТУСУР, г. Томск, stalker-aleks@t-sk.ru

В XXI в., веке всеобщей доступности информации и развлечений, наибольшую популярность приобретают игровые приложения, в которых виртуальность граничит с реальностью. Одним из жанров игр, достигших высот реалистичности, являются авиасимуляторы. В них человек управляет различными видами авиатранспорта, при этом на поведение самолета влияют его характеристики (аэродинамичность, предельная скорость, высота, вид установленного оборудования) и внешние факто-

ры (погода, взаимодействие с другими объектами). В научном моделировании такие наработки только еще начинают применяться, хотя теоретических и практических материалов по поведению самолета в воздухе накоплено достаточно.

Моделирование показаний научных приборов необходимо для изучения поверхности Земли, различных физических явлений, атмосферы. Атмосфера Земли представляет собой сложную систему, на состояние которой влияют множество факторов, среди которых есть индустриальная деятельность человека, загрязняющая окружающую среду разнообразными выбросами вредных газов. Поэтому изучение концентрации и распределения этих газов становится актуальным в наши дни.

Одним из приборов, следящих за состоянием атмосферы, является пассивный микроволновый спектрометр, выпускаемых в двух вариантах: мобильный и статический. Мобильный вариант представляет собой компактный прибор, готовый к транспортировке в любой момент, сканирующий атмосферу по вертикали. Способ применения статического варианта следующий: прибор устанавливают на летательный аппарат и, по заданной траектории полета самолета, он сканирует поверхность Земли, при этом нужно учитывать, что показания прибора зависят от поведения самолета и траектории его полета. Такой способ позволяет охватить измерениями достаточно большую площадь территории, за достаточно малое время, по сравнению с мобильным вариантом прибора.

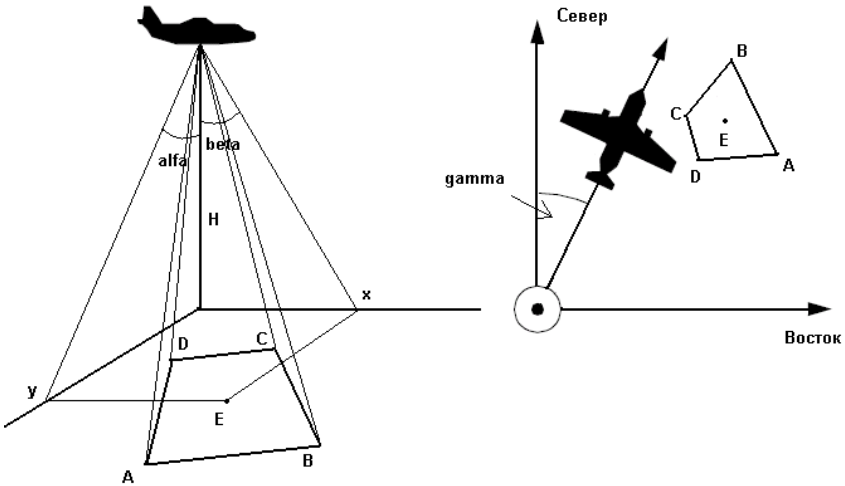


Рис. 1. Схема сканирования поверхности земли

Сложность моделирования прибора на борту самолета в том, что его показания зависят от поведения самолета в воздухе, т.е. летательный аппарат маневрирует, делает развороты, меняет высоту. В авиации это называется следующими терминами: крен (наклон на крыло), тангаж (поднятие/опускание носа) и курс (угол между направлением на Север и направлением самолета). Все эти характеристики необходимо учитывать при создании целостной картины показаний прибора. На рис. 1 изображена схема сканирования поверхности земли с тангажом самолета назад (угол beta) и крене на левое крыло (угол alfa), курсом на северо-восток (угол gamma). Поле видения прибора представляет собой четырехугольник ABCD с центром в точке *E*.

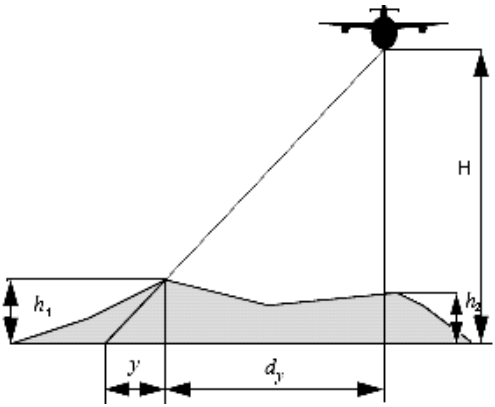


Рис. 2. Влияние рельефа местности на поле видения прибора

В данном проекте используется высота полета, отсчитываемая от уровня моря, поэтому возникает проблема с вычислением координат поля зрения. Как видно на рис. 2, поле зрения прибора без учета рельефа местности представляет собой величину, равную $y + dy$, но если учитывать изгибы поверхности видно, что реальная величина равна dy. Величина y образует ошибку, которая увеличивается с уменьшением высоты полета H, либо с увеличением высоты поверхности h_1 и h_2. Данная проблема решается с подключение баз данных SRTM, извлечением из нее данных о высотах на отрезке $y + dy$ и вычислением точки пересечения поля зрения прибора с поверхностью.

Литература

1. *Nitsche W.* Entwicklung und Test von Onboard-Algorithmen für die Landfernerkundung. Berlin, 1999.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ БЮРО КРЕДИТНЫХ ИСТОРИЙ

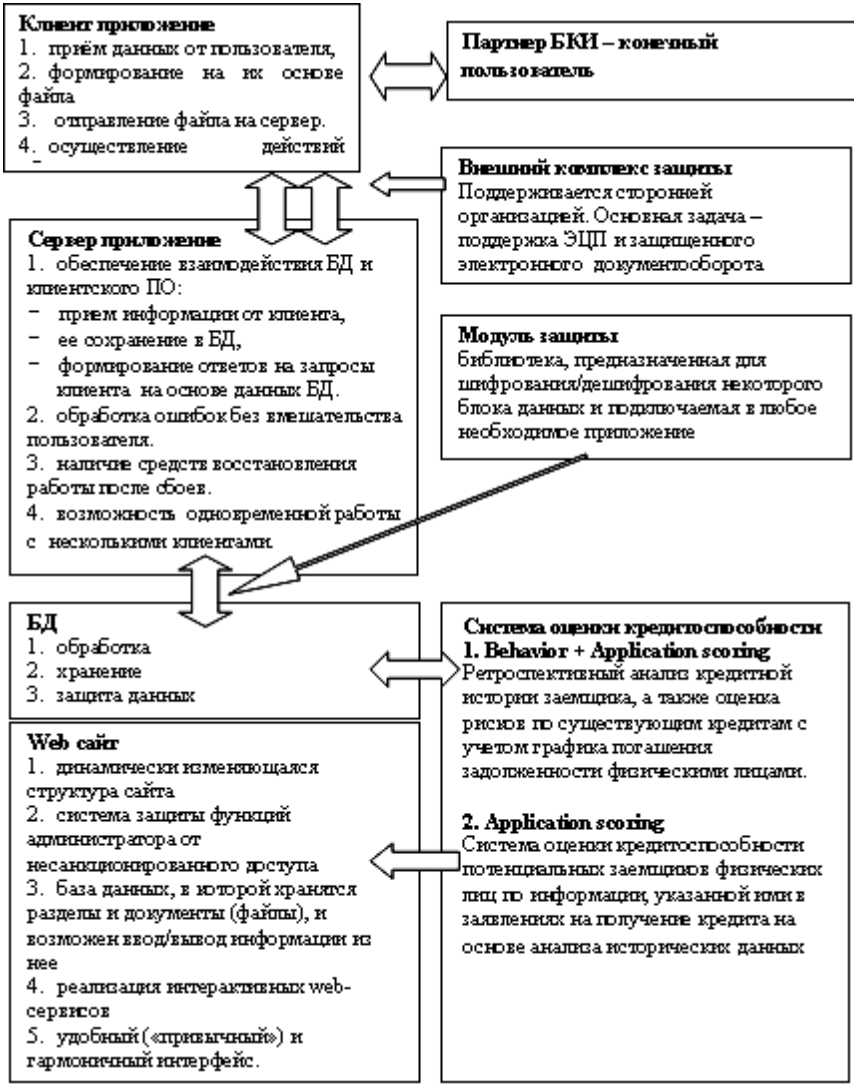
М.С. Прищепа, студент 5-го курса каф. АСУ,
ТУСУР, г. Томск, prichepa-pta@yandex.ru

На сегодняшний день рынок г. Томска, впрочем так же, как и России, характеризуется достаточно высокой степенью активности граждан в сфере ипотечного, потребительского, целевого и других видов кредитования, а также высокой конкуренцией коммерческих банков. Данные факторы обуславливают заинтересованность кредиторов в упрощении методов оценки кредитоспособности заемщика, что, как показывает мировой опыт, можно осуществить через создание кредитных бюро. Первое кредитное бюро в России было создано только в 2004 г. А законодательная база окончательно была сформирована к середине 2005 г. Основным документом, регулирующим деятельность кредитных бюро, является Федеральный закон № 218 ФЗ «О кредитных историях». Исходя из его содержания, бюро кредитных историй можно определить как специализированную коммерческую организацию, которая аккумулирует сведения, называемые кредитной историей, о заемщиках и выдаваемых им кредитах, хранит эти сведения и с разрешения заемщиков предоставляет их потенциальным кредиторам.

В большинстве случаев кредитное бюро заинтересованно в формировании собственного программного обеспечения, и это обусловлено не только спецификой территориального расположения и клиентской среды, но и планируемым спектром услуг. На сегодняшний день в Томске тоже существует потребность в создании подобного программного обеспечения.

Деятельность «Томского бюро кредитных историй», находящегося сейчас на стадии лицензирования, в перспективе будет направлена на удовлетворение информационных потребностей кредитного рынка Томской области, что определяет специфику данного бюро как небольшого предприятия и формирует возможность разработки автоматизированной системы (АИС) проектной группой студентов. Такая АИС бюро кредитных историй создается в рамках Группового проектного обучения, которое является одним из основных элементов Инновационной образовательной программы ТУСУРа.

Автоматизированная информационная система представляет собой совокупность информации, экономико-математических моделей, технических, программных, технологических средств и специалистов, предназначенных для обработки информации и принятия управленческих решений.



Структура АИС бюро кредитных историй

Ядром практически всех автоматизированных систем является база знаний или база данных, остальные элементы представляют собой надстройки к ядру, а связующим звеном выступает сервер (рис.).

На сегодняшний день реализованы все перечисленные компоненты, объединены в единую информационную систему, протестированы и

предоставлены заказчику вместе с соответствующими документами (руководство пользователя по отдельным компонентам, результаты тестирования, общее руководство пользователя).

В связи с жесткой политикой конфиденциальности и сокрытия информации о неплатежеспособных клиентах в большинстве коммерческих банков России наблюдается стремление к созданию собственных кредитных бюро, что, по сути, является дублированием их собственной базы данных о клиентах. Крупнейшие из них в процессе сотрудничества имеют возможность оперативно получить необходимую информацию. Одновременно складывается ситуация «застоя» на региональных рынках кредитных историй, обусловленная повторяемостью данных кредитных историй в различных бюро и значительными потерями времени на их получение. Таким образом, наблюдается рост задолженности и потерь по кредитам в региональном банковском портфеле, и, в первую очередь, это связанно с увеличением доли просроченной задолженности по кредитам физических лиц (например, ее удельный вес в общем объеме данных кредитов увеличился с 1,9% на 1.01.2006 до 2,6% на 1.01.2007). Консолидация кредитной информации о заемщиках конкретного субъекта РФ является наиважнейшей и главной задачей будущей деятельности «Томского бюро кредитных историй».

Литература

1. *Прищепа М.С.* Опыт проектирования экономической информационной системы организационного управления / Групповое проектное обучение: Доклады второй научно-методической конференции, ТУСУР (26–27 ноября) 2007 г. Томск: ТУСУР, 2007. Т. 2, С. 14–18.

2. *Ветрова А.В.* Статья «Кредитные бюро: проблемы и решения» / Международный фонд экономических и социальных реформ, Департамент по банкам и финансовым рынкам, М., 2000.

3. *Исаков М.Н.* Предметно-ориентированные экономические информационные системы: Учебное пособие. Томск: ТМЦДО, 2005.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ДАННЫМИ MODIS И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Е.М. Винник, студент 5-го курса;
С.Ю. Хегай, Д.А. Сущенко, студенты 3-го курса
ТУСУР, г. Томск, smack-of-god@yandex.ru

На спутниках Terra и Aqua установлен спектрорадиометр MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, сканирующий спектрорадиометр среднего разрешения), который создает снимки земной поверхности и облачного поля в 36 спектральных каналах с разрешением 250, 500 и 1000 м/пиксель [1]. В среднем полный снимок Земли делается ка-

ждые 1–2 дня. Данные сохраняются в формате HDF (hierarchical data format, иерархический формат данных) [2] и являются общедоступными.

HDF файл содержит дополнительную информацию о времени снимка и географических координатах. Объединяя снимки в нескольких спектральных интервалах, можно формировать RGB изображения, наложение которых на географическую карту позволяет получить сведения о состоянии подстилающей поверхности, включая растительность, атмосфере или облачности в заданном регионе.

В докладе рассматривается комплекс программ, который позволяет выполнять:

1. Извлечение и предварительный просмотр данных спектрорадиометра MODIS, хранящихся в HDF файлах.
2. Формирование изображений в формате RGB для выбранных спектральных интервалов.
3. Выделение на RGB изображениях заданных на географической карте участков произвольной формы.

В рамках ГПО разработано приложение HDFMerge для работы с HDF файлами. Программа позволяет просматривать данные файла, экспортировать их в виде растровых Bitmap изображений, создавать изображение с данными для геопривязки. В качестве языка программирования выбран язык Java, для создания графического пользовательского интерфейса используются отрытые кросс-платформенные библиотеки для вывода графиков (JFreeChart), для работы с HDF файлами (библиотеки, поставляемые HDF Group), для графических элементов управления (Eclipse SWT). Разработка комплекса ориентирована на работу под различными операционными системами (Linux, Windows).

В качестве графической оболочки для работы с картами была выбрана программа uDig (User-friendly Desktop Internet GIS) – геоинформационная система с открытым кодом, созданная компанией Refractions Research на базе Eclipse [3]. Программа uDig позволяет работать с многослойными картами из различных источников (базы данных, растровые изображения, Интернет) и создавать дополнительные встроенные инструменты.

Отличие разработки от существующих аналогов (HDFView, ENVI) состоит в том, что комплекс специализирован для работы с данными MODIS и организовано двустороннее взаимодействие (с помощью внешних файлов и технологии RMI) между геоинформационной системой uDig и HDFMerge, позволяющее выделять участки на снимке и просматривать их местоположение на карте, что является уникальной особенностью разработки.

Литература

1. MODIS, http://modis.gsfc.nasa.gov/
2. HDF Group, http://hdf.ncsa.uiuc.edu/index.html
3. uDig, http://www.udig.refractions.net/

СЕКЦИЯ 6
КВАНТОВАЯ, ОПТИЧЕСКАЯ И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – **С.Н. Шарангович,** зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н., доцент;*
*зам. председателя – **Н.И. Буримов,** к.т.н., доцент каф. ЭП*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ МУФТ УЗЛА ШАРИКОПОДШИПНИКА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Д.Н. Хатьков, аспирант; Н.Д. Хатьков, к.т.н., доцент
ТУСУР, г. Томск, hatkovnd@svch.rk.tusur.ru

Изучение частотных свойств деталей сложной конфигурации в узлах механических конструкций, подвергающихся вибрациям является актуальной задачей. Она обусловлена техническими трудностями, связанными с прямыми измерениями этих свойств из-за сложной конструкции, для которой практически трудно рассчитать частотные свойства какого-либо составного изделия с учетом всех взаимовлияний элементов всего устройства. Измерение частотных свойств вне состава конструкции для какого-то отдельного элемента не решает проблемы, поскольку полученные данные существенно будут отличаться из-за многочисленных резонансных явлений, если изученный элемент закрепить в конструкции.

В работе для изучения частотных свойств муфт узла шарикоподшипника использовался экспериментальный метод исследования на основе лабораторной установки, блок-схема которой показана на рис. 1.

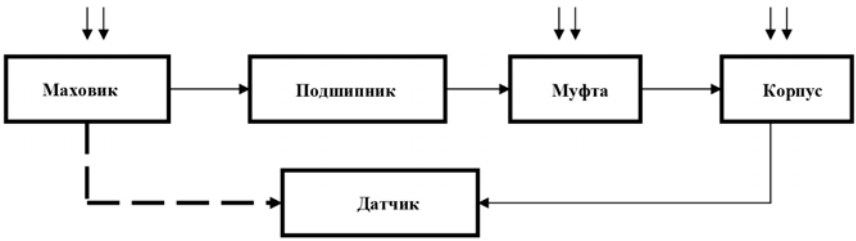


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной лабораторной установки

Объектом исследования являлась переходная муфта между подшипником и корпусом. Муфты были одинаковых размеров, но изготовлялись из разных материалов и обладали разными конструктивными особенностями. Сама муфта располагалась внутри гнезда для подшипника, в который входила ось вращающегося маховика. Крепежные элементы муфты отсутствовали. Поэтому муфта находилась в физическом контакте с нижней точкой основания под действием силы тяжести половины веса маховика. Дополнительно к этому она еще была в притертом состоянии к подшипнику, который находился у нее внутри. Сам подшипник вращался на оси маховика. Модель узла крепления муфты соответствовала прототипу реальной конструкции.

Вся конструкция располагалась на резиновом основании, обеспечивающем акустическую развязку с лабораторным столом. На элементах конструкции (рис. 1) двумя стрелками указаны области возбуждения акустических волн электромеханическим ударником и их предполагаемое распространение. Подшипник не возбуждался, поскольку отсутствовал физический доступ к его конструкции. Точки возбуждения на элементе каждой конструкции выбирались в разных местах с целью увеличения разнообразия модовых колебаний. Таких мест было выбрано пять на каждом элементе конструкции. Пунктирная стрелка прохождения акустических волн показана для случая, когда датчик располагался непосредственно на теле маховика, а не на корпусе всей конструкции. Для исследования частотных свойств использовался метод локальных свободных колебаний.

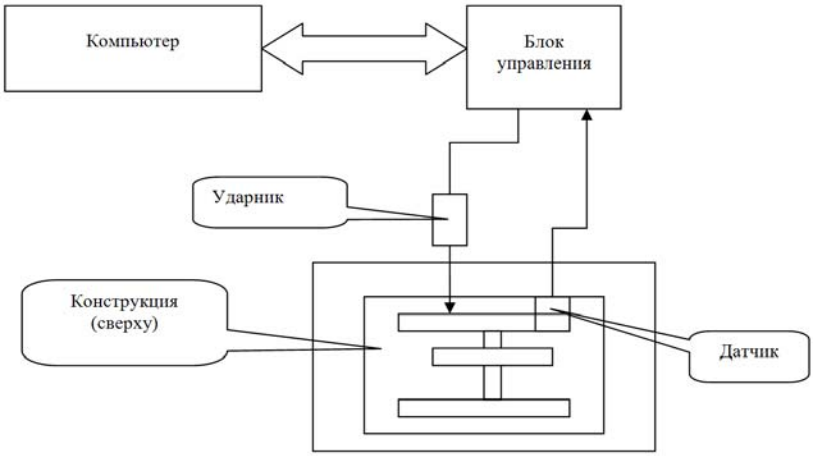


Рис. 2. Блок-схема управления экспериментальной установкой

Проведение измерений с целью их автоматизации осуществлялось с использованием компьютера с внешним блоком управления. Блок управления содержал интерфейс связи с компьютером, схему управления и питания электромеханического ударника, а также цифроаналоговый преобразователь для получения сигналов с контактного акустического датчика. Схема взаимосвязи элементов представлена на рис. 2. Программное обеспечение состояло из нескольких модулей. Завершающий модуль формировал трехмерное изображение энергетического состава акустических мод, свойственных разным типам муфт. В основе обработки экспериментальных данных лежала математическая модель, представленная в [1].

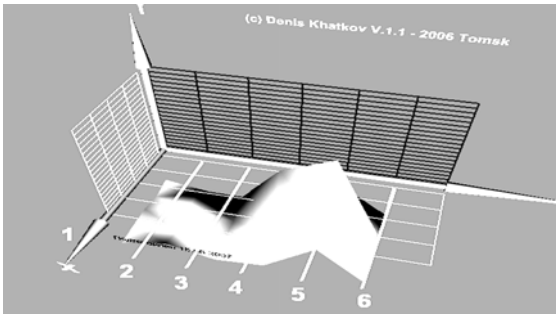


Рис. 3. Мощность акустической моды 7КГц при возбуждении электромеханическим ударником непосредственно самих образцов (1–6) каждой муфты в 5 различных местах

Из представленных измерений на рис. 3 видно, что достаточно хорошее подавление основной моды маховика 7КГц осуществляют муфты 1–3 и 6, однако в то же время из других аналогичных измерений следует, что подавление моды 3,5 КГц, соответствующей корпусу, лучше всего свойственно муфтам 1–3. Следует заметить, что муфта 2 лучше подавляет моду 3,5 КГц, чем муфта 1. Они отличаются друг от друга наличием (муфта 2) и отсутствием отверстий (муфта 1), причем муфты изготовлены из одного и того же материала. Таким образом, в результате проведенных экспериментов выяснилось, что наилучшими демпфирующими свойствами обладают 1–3 образцы. Причем для подавления основной моды маховика может использоваться и образец 6. Это говорит о том, что на демпферные свойства образцов существенное влияние оказывает неравномерность частотной характеристики всей конструкции.

Литература

1. *Хатьков Д.Н., Хатьков Н.Д.* Численный вейвлет-анализ многократных наложенных отражений акустического импульсного затухающего сигнала в системе «Дефект – отражательная стенка» // Электронные средства и системы управления. Опыт инновационного развития: Доклады Международной научно-практической конференции. (31 окт. – 3 ноябр. 2007 г.) В 2 Ч. Ч. 1. Томск: В-Спектр, 2007. С. 244–246.

ПОИСК ТРЕЩИНООБРАЗНЫХ ДЕФЕКТОВ В МАССИВНЫХ ТЕЛАХ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ЛОКАЛЬНЫХ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Д.Н. Хатьков, аспирант; Н.Д. Хатьков, к.т.н., доцент
ТУСУР, г. Томск, hatkovnd@svch.rk.tusur.ru

В настоящее время существует большое количество приборов осуществляющих поиск дефектов в различного рода конструкциях. Приборы в основном используют рентгеновское и ультразвуковые излучения. Для дефектоскопии сложных по конфигурации и большой толщины изделий, например из металлов, эти излучения трудно использовать из-за большого поглощения, размытой теневой картины этих лучей и слабого рассеянного с многократными отражениями акустического отклика.

В работе на основе использования метода локальных свободных колебаний представлены экспериментальные результаты поиска нитевидных трещин в двух массивных металлических объектах (рис. 1): литой диск *1* диаметром 0,8 м и толщиной 80 мм, стальной поршень насоса *2* технологической колонны нефтехимического комбината с многочисленными крупными внутренними отверстиями высотой 100 мм и диаметром 0,15 м.

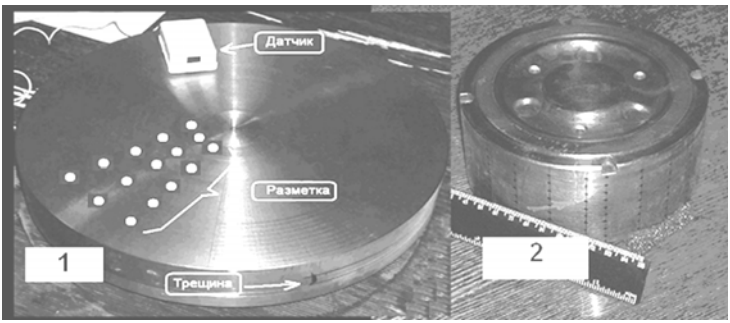


Рис. 1. Исследуемые объекты: *1* – массивный круг с трещинами, *2* – массивный поршень насоса

Лабораторная установка содержала электромеханический ударник, аналого-цифровой преобразователь акустического сигнала с инерционного мембранного датчика, интерфейс управления ударником и переносной компьютер. Сканирование механическими ударами осуществлялось в виде равномерной сетки с шагом по ортогональным направлениям в пределах 5–10 мм по открытой поверхности с односторонним доступом. Программное обеспечение осуществляло обработку акустических

сигналов с учетом математической модели, представленной в [1]. В результате расчетов формировалась энергетическая диаграмма трехмерного вида, а секторное сканирование и сканирование по торцевой поверхности цилиндра преобразовывалось в линейную развертку для удобства интерпретации результатов измерений.

Особенностью обработки акустических сигналов являлся подбор выделенных акустических мод для исследуемых образцов. В связи с разными размерами диска и поршня они и были разными, однако в пределах одних и тех же образцов найденные моды колебаний были одинаковыми. Результаты измерений энергетических диаграмм мод представлены на рис. 2, 3.

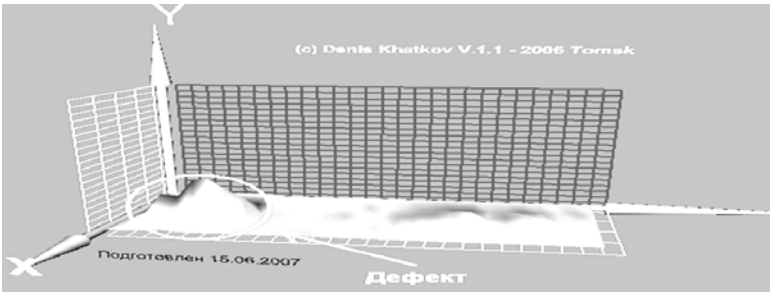


Рис. 2. Панорама распределения мощности возбуждаемой акустической моды для дефектного образца стального диска

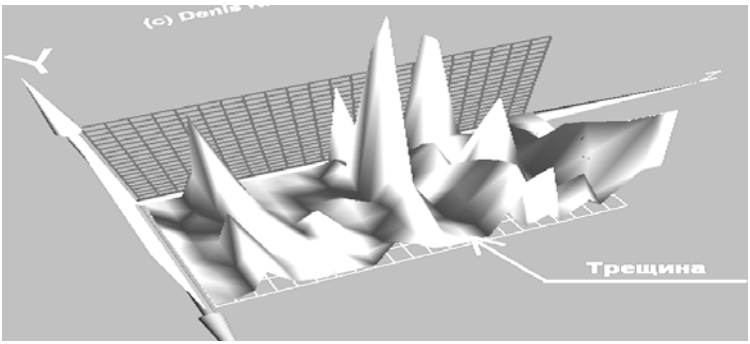


Рис. 3. Панорама распределения мощности возбуждаемой акустической моды для дефектного образца массивного поршня

На рис. 2 хорошо виден энергетический всплеск моды именно в том месте, где находится нитевидная трещина в стальном массивном диске. Также видны небольшие всплески и на других участках диска, что говорит о возможных невидимых дефектах и в других местах этого образца.

У другого объекта – массивного поршня на рис. 3 наблюдается целый куст трещин, хотя видна на поверхности лишь одна. Для целого же поршня поверхность диаграммы ровная с небольшими всплесками.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показывают, что современные методы обработки акустических сигналов [1] на основе использования широко известного метода локальных свободных колебаний позволяют определять наличие трещинообразных дефектов в массивных изделиях с указанием их местоположения.

Литература

1. *Хатьков Д.Н., Хатьков Н.Д.* Численный вейвлет-анализ многократных наложенных отражений акустического импульсного затухающего сигнала в системе «Дефект – отражательная стенка» // Электронные средства и системы управления. Опыт инновационного развития: Доклады Международной научно-практической конференции. (31 окт. – 3 ноябр. 2007 г.) В 2 ч. Ч.1.Томск: В-Спектр, 2007. С. 244–246.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СПЕКТРАЛЬНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В КРИСТАЛЛЕ BSO

М.Ю. Аверкина, Н.С. Басько, Е.С. Гриднева
ТУСУР, г. Томск, aka_83@mail.ru

Силикат висмута (BSO) относится к классу силленитов и является одним из наиболее чувствительных кристаллов такого типа, используемых для фоторефрактивной записи динамических голограмм [1]. Его свойства могут изменяться под действием света, внешних полей и температуры.

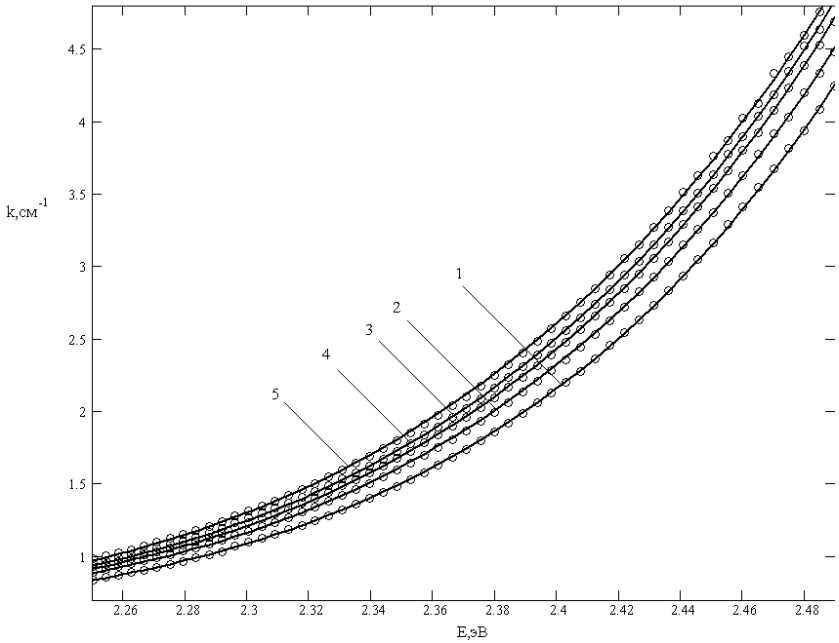
Фоторефрактивный эффект в кристаллах связан с перезарядкой примесных и дефектных центров под действием света. Эти центры могут иметь различные сечения фотоионизции, так что их перезарядка приводит к фотоиндуцированному изменению поглощения света [2]. Исследование температурных зависимостей коэффициента поглощения при освещении кристалла светом с различными длинами волн может дать полезную информацию о структуре примесных и дефектных уровней [3].

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния температуры на спектральные характеристики оптического поглощения в нелегированном кристалле силиката висмута ($Bi_{12}SiO_{20}$).

В экспериментах образца был использован образец силиката висмута толщиной 10,7 мм, среза (100). Кристалл нагревался потоком горячего

воздуха до 70° С при начальной температуре T_0 = 27 °С. По мере нагревания фиксировались спектры оптического пропускания образца при помощи спектрофотометра СФ-56 в диапазоне 480–1100 нм с шагом 1 нм, из которых с учетом дисперсии показателя преломления рассчитывались зависимости коэффициента поглощения от энергии кванта светового излучения $k(\hbar\omega)$.

В экспериментах получено, что с ростом температуры коэффициент поглощения увеличивается, а его заметные изменения наблюдаются в области от 500 до 600 нм. Максимальные изменения оптического поглощения наблюдаются на длине волны 500 нм и достигают значений ~ 0,65 см$^{-1}$ при температуре 70 °С, при начальном коэффициенте поглощения кристалла до его нагрева, составляющем 4 см$^{-1}$.



Аппроксимация спектральных зависимостей коэффициента поглощения для значений температуры: 1 – 27 °С, 2 – 40 °С, 3 – 50 °С, 4 – 60 °С, 5 – 70 °С

Аппроксимация полученных зависимостей $k(\hbar\omega)$ проводилась в рамках модели, предложенной в работе [4], учитывающей наличие в запрещенной зоне кристалла центров с нормальным законом распределения концентраций по энергии:

$$k(\hbar\omega)=\int_0^{\hbar\omega} SN(E_I)\frac{\sqrt{\hbar\omega/E_I-1}}{(\hbar\omega/E_I)^3}\frac{1}{1+\exp\left[(E_F-E_I)/k_BT\right]}dE_I\,,$$

где энергия E_F равна расстоянию от уровня Ферми до дна зоны проводимости, k_B – постоянная Больцмана и T – абсолютная температура, N_{EI} – концентрация центров, S – сечение фотоионизации центров.

Результаты аппроксимации полученных при различных температурах экспериментальных зависимостей коэффициента поглощения, при которых использовался метод наименьших квадратов, представлены на рис. 1 сплошными линиями. В расчетах учитывались четыре центра со средними энергиями ионизации E_1 ~ 1,94 эВ; E_2 ~ 2,35 эВ; E_3 ~ 2,62 эВ и E_4 ~ 2,74 эВ.

Установлено, что заполнение электронами центров E2, E3 увеличивается с ростом температуры.

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 гг.)».

Литература

1. *Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В.* Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992. 318 с.

2. *Малиновский В.К., Гудаев О.А., Гусев В.А., Деменко С.И.* Фотоиндуцированные явления в силленитах. Новосибирск: Наука. 1990. 160 с.

3. *Панченко Т.В.* Термооптическое исследование примесных центров в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$, легированных Cu. М: Физика твердого тела, 1998. Т. 40. № 7. С. 1246–1251.

4. *Толстик А.Л., Матусевич А.Ю., Кистенева М.Г. и др.* // Квантовая электроника. 2007. Т. 37. № 11. С. 1027.

ЗАПИСЬ ФОТОРЕФРАКТИВНОЙ РЕШЕТКИ В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА СРЕЗА [100] В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕЙ НЕКОГЕРЕНТНОЙ ПОДСВЕТКИ

А.А. Колегов, В.С. Беликов, В.Г. Сибагатулина

ТУСУР, г. Томск, bni@fet.tusur.ru

Кристаллы титаната висмута благодаря сравнительно быстрому фоторефрактивному отклику находят широкое применение в адаптивных голографических устройствах [1]. Использование отражательной геометрии формирования динамических решеток позволяет получить в этих кристаллах значительный фоторефрактивный отклик без приложения внешних электрических полей [2]. Однако большая светочувствитель-

ность титаната висмута приводит к явлениям фотоиндуцированного поглощения света, сопровождающим встречное взаимодействие световых пучков. Внешняя некогерентная подсветка кристаллов титаната висмута, обусловленная в реальных устройствах на его основе, например естественным светом, может значительно влиять на эффективность такого взаимодействия, вызывая перераспределение зарядов по дефектным центрам, участвующим в формировании отражательных голограмм.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования влияния внешней некогерентной подсветки на динамику формирования и релаксацию отражательных фоторефрактивных решеток, а также развития фотоиндуцированного поглощения света, в кристалле титаната висмута среза (100).

Экспериментальная установка, использованная для изучения влияния внешней некогерентной подсветки на формирование фоторефрактивных решеток, подробно описанная в работе [3], представлена на рис. 1.

В качестве источника излучения использовался лазер с длиной волны 633 нм. Световой пучок лазера (λ = 633 нм), управление которым осуществлялось с помощью затвора З, использовался для записи фоторефрактивных решеток в кристалле ВТО среза [100] с просветленными гранями $x = 0$ и $x = -d$ (рис. 1)

Внешняя некогерентная подсветка осуществлялась с помощью синего светодиода СД, имеющего среднюю длину волны $\lambda_i \approx 455$ нм, мощность $P \approx 1$ Вт и средний угол рассеивания излучения $\alpha \approx 14°$. Однородность засветки области кристалла, в которой формировалась фоторефрактивная решетка, осуществлялась с помощью изоражающей линзы ИЛ.

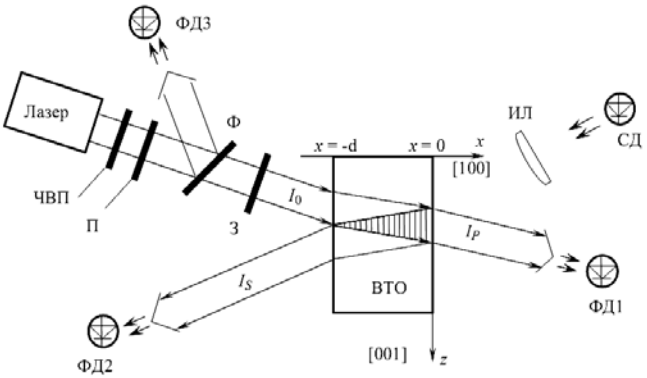


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: ФД1-, ФД2-, ФД3-фотодиоды; СД – светодиод (внешняя некогерентная подсветка); ИЛ – изображающая линза; З – затвор; Ф – светофильтр; П – поляризатор; ЧВП – четвертьволновая пластинка; ВТО-кристалл титаната висмута

Методика эксперимента заключается в следующем. Первоначально в течении 30 мин производилась засветка кристалла титаната висмута внешним некогерентным излучением, что позволяло произвести стирание ранее записанных фоторефрактивных решеток и обеспечивало примерно одинаковое начальное состояние кристалла во всех экспериментах. После этого внешняя подсветка выключалась, с помощью затвора 3 открывалось лазерное излучение и производилась запись отражательной решетки. Через каждые 30 мин производилось включение внешней подсветки на 1 мин при включенном лазерном излучении. Время засветки кристалла некогерентным излучением при последующих включениях светодиода постепенно увеличивалось.

На рис. 2 представлены экспериментальные временные зависимости коэффициента оптического поглощения α (рис. 2, *а*) и коэффициента двухпучкового усиления Г (рис. 2, *б*).

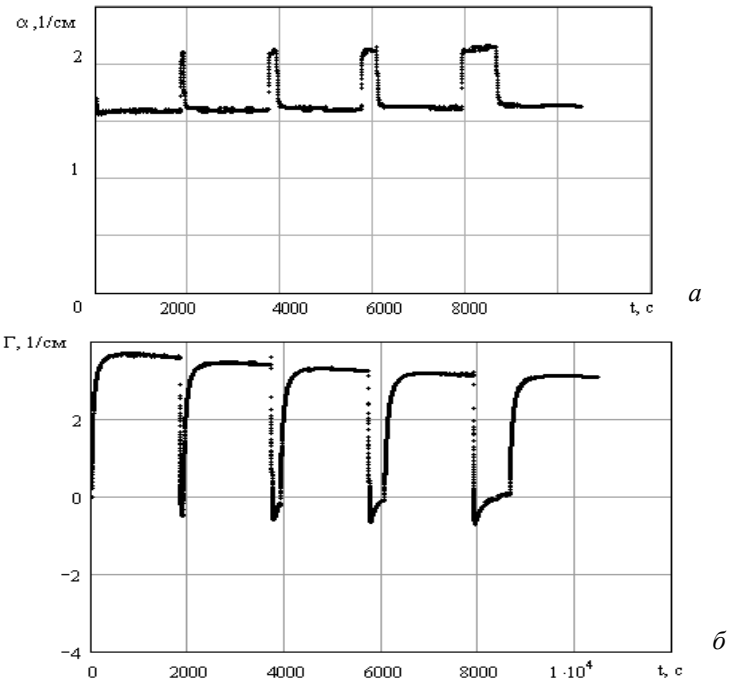


Рис. 2. Зависимости коэффициента оптического поглощения α (*а*) и коэффициента двухпучкового усиления Г (*б*) от времени

Из рис. 2, *а* и *б* следует, что подсветка кристалла некогерентным излучением с длиной воны 455 нм во время записи решетки приводит к

росту оптического поглощения и изменению знака эффективного коэффициента усиления что может быть связано с перераспределением зарядов по дефектным центрам, участвующим в формировании отражательных голограмм.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и БРФФИ (гранты №06-02-81040_Бел_а и №05-02-16589-а) и программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 гг.)».

Литература

1. *Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В.* Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992. 320 с.

2. *Агеев Е.Ю., Шандаров С.М., Веретенников С.Ю., Мартьянов А.Г., Карташов В.А., Камшилин А.А., Прокофьев В.В., Шепелевич В.В.* Двухволновое взаимодействие на отражательной решетке в кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$ // Квантовая электроника. 2001. Т. 31. С. 343.

3. *Колегов А.А., Буримов Н.И., Шандаров С.М., Беликов В.С., Прокофьев В.В., Яскелайнен Т., Толстик А.Л., Ропот П.И.* Влияние некогерентной подсветки на двухволновое взаимодействие в кристалле титаната висмута // Известия РАН. Серия физическая. 2008. Т. 72. № 1. С. 23–27.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ФОТОННЫХ РЕШЕТОК В НИОБАТЕ ЛИТИЯ

А.А. Ащеулова, С.А. Давыдов, К.А. Крицкая, А.Н. Парханюк, Е.А. Пешкова, С.В. Сандаков, студенты 3-го курса

ТУСУР, г. Томск, Cupera@sibmai.com

В нелинейной оптике в последнее время проявляется особый интерес к нелинейным периодическим структурам, распространение света в которых существенно отличается от такового в оптически однородной среде [1, 2]. Значительный интерес представляют оптически индуцированные одномерные и двумерные фотонные решетки в фоторефрактивных кристаллах, например в ниобате лития ($LiNbO_3$) [3, 4]. Целью данной работы является экспериментальное исследование одномерных фотонных решеток в кристалле ниобата лития, легированном железом.

Фотонные решетки формировались в объемных кристаллах $LiNbO_3$:Fe голографическим методом. Волновой вектор одномерной решетки ориентировался вдоль оптической оси кристалла (ось *Z*). Величина изменения показателя преломления для необыкновенно поляризованного света в возмущенной области достигала 10^{-4}.

В экспериментах исследовались угловые зависимости оптического пропускания образцов с фотонными решетками и распределения интен-

сивности света на выходной плоскости этих решеток. На рис. 1 представлена схема экспериментов по исследованию распределения интенсивности света на выходной плоскости структур.

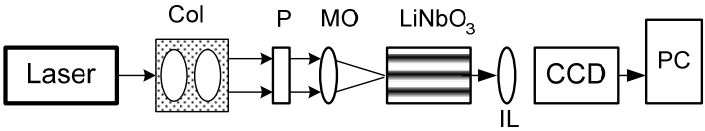


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования распространения света в одномерных фотонных решетках: Col – коллиматор; P – поляризатор; MO – фокусирующая линза; IL – изображающая линза; CCD – видеокамера; PC – персональный компьютер

Коллимированный световой пучок гелий-неонового лазера или твердотельного YAG:Nd^{3+} лазера с удвоением частоты фокусируется линзой (MO) с фокусным расстоянием ~20 мм на входную грань кристалла с решеткой, расположенного на вращающемся столике, позволяющем изменять угол с точностью до 1 угловой минуты. Считывающее излучение имеет необыкновенную поляризацию. Линза (IL) формирует изображение выходной грани кристалла на видеокамере.

При исследовании оптического пропускания структур они зондировались параллельным световым пучком, мощность которого измерялась с помощью фотодиода. Величина пропускания при определенных направлениях ограничивается брэгговским отражением света в структуре. На рис. 2 и 3 представлен пример таких зависимостей для образцов: 1 – LN:Fe (0,02 вес.%); 2 – LN:Fe (0,005 вес.%) соответственно.

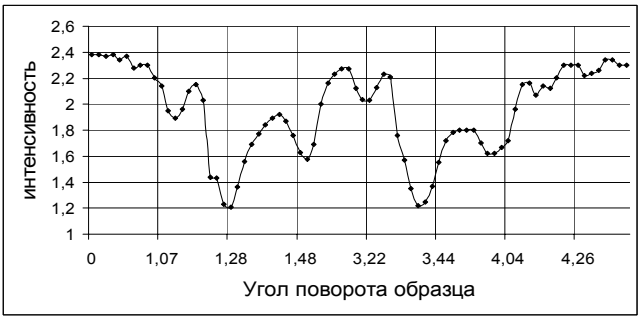


Рис. 2. Угловая зависимость пропускания света для одномерной фотонной решетки в образце LN:Fe (0,02 вес.%)

Наличие локальных минимумов в зависимости на рис. 2 помимо двух основных (отражений при угле Брэгга) обусловлено выбросами за счет большего изменения показателя преломления в области решетки. Второй образец (рис. 3) легирован слабее и глубина модуляции ниже, вследствие чего данная зависимость оказывается более гладкой.

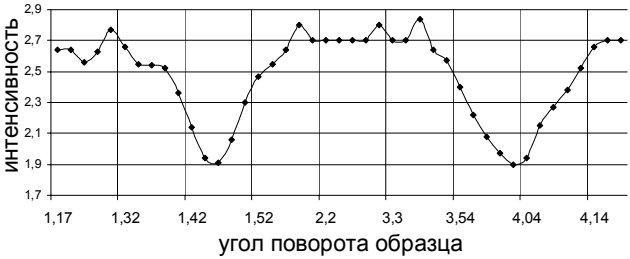
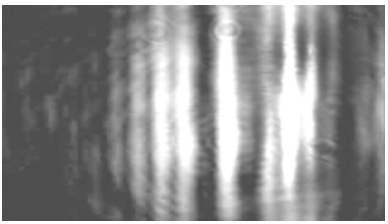
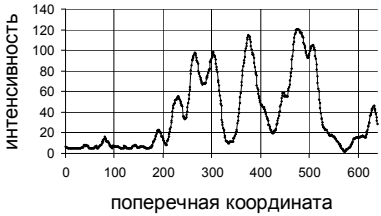


Рис. 3. Угловая зависимость пропускания света
для одномерной фотонной решетки в образце LN:Fe (0,005 вес.%)

Было проведено исследование распределения интенсивности света на выходных плоскостях кристаллов. Рис. 4 и 5 иллюстрируют распределение интенсивности на выходных плоскостях кристаллов с большей и меньшей степенью легирования соответственно.

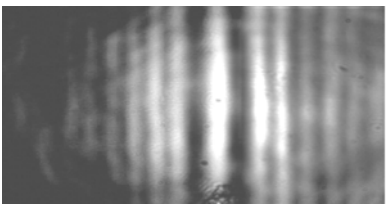


а

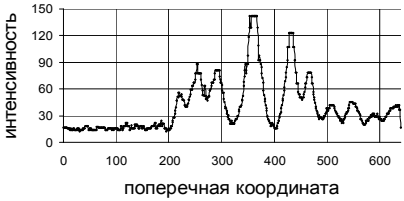


б

Рис. 4. *а* – распределения интенсивности на выходной плоскости кристалла;
б – профиль распределения интенсивности



а



б

Рис. 5. *а* – распределения интенсивности на выходной плоскости кристалла;
б – профиль распределения интенсивности

Из данных распределений интенсивности видно, что излучение присутствует не только в возбуждаемом канале но и в соседних, что, в свою очередь, обуславливается наличием межэлементной связи.

Литература

1. *Christodoulides D.N. and Joseph R.I.* Opt. Lett. 13, 794 (1988).

2. *Lederer F. and Silberberg Y.,* Opt. & Photon. News 2, 48 (2002).

3. *Neshev D., Ostrovskaya E., Kivshar Yu., and Krolikowski W.* Opt. Lett. 28, 710 (2003).

4. *Шандаров В.М., Шандарова К.В., Кип Д.* Дискретная дифракция и пространственное самовоздействие световых пучков в одномерных фотонных решетках в ниобате лития // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31, С. 88–94.

О ЗАТУХАНИИ СВЕТА НА МИКРОИЗГИБАХ В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

В.И. Ефанов, к.т.н., доцент; В.И. Петров, студент 5-го курса РТФ

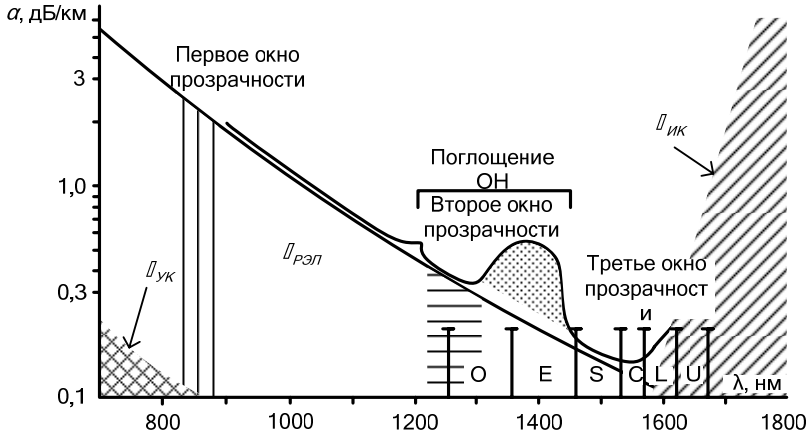
ТУСУР, г. Томск, evi@main.tusur.ru

К основным передаточным характеристикам оптических волокон (ОВ) относятся затухание и дисперсия. Именно эти две важнейшие характеристики определяют применимость ОВ в линиях связи.

Целью данной статьи является исследование затухания света с учетом потерь на микроизгибах и определение числа микроизгибов на 1 км оптического волокна.

Зависимость потерь в кварцевых ОВ от длины волны света представлена на рисунке. Потери ограничиваются рэлеевским рассеянием, инфракрасным поглощением и резонансным поглощением ионов ОН («водяные» пики). Кривая носит иллюстративный характер, так как для разных типов волокон и разных производителей величина потерь может различаться. Наиболее сильно могут различаться потери в «водяных» пиках на $\lambda = 1290$ нм и $\lambda = 1383$ нм. Так, в новых моделях SM-волокон: AlTWave (Lucent Technologies), SMF-28e (Corning), SMR (Pirelli) – отсутствует пик на $\lambda = 1383$ нм и снижена чувствительность к воздействию водорода.

Рэлеевское рассеяние уменьшается с увеличением длины волны ($\sim 1/\lambda^4$), а инфракрасное поглощение, наоборот, увеличивается. Абсолютный минимум потерь приходится на $\lambda = 1550$ нм. Для лучших образцов промышленных SM-волокон потери на этой длине волны составляют 0,18÷0,19 дБ/км [1]. Так, например, затухание в ОВ Corning SMF-28e не превышает 0,185 дБ/км, а в новом волокне Corning SMF-28 ULL оно вообще менее 0,17 дБ/км [2].



Спектр потерь и положение окон прозрачности в кварцевых ОВ

Однако, как показывают исследования, и эти потери могут быть уменьшены. В окнах прозрачности основной вклад в потери обусловлен рэлеевским рассеянием, а его коэффициент зависит от режима тепловой обработки заготовки и уменьшается при снижении температуры вытяжки волокна. При снижении температуры вытяжки до 1800 °С и скорости вытяжки до 1 м/с потери в волокне с легированной GeO_2 сердцевиной удалось уменьшить до 0,16 дБ/км на длине волны 1550 нм, до 0,29 дБ/км на длине волны 1330 нм.

Потери на рассеяние. По своей физической природе стекло является аморфным материалом, в котором имеются микроскопические изменения в составе. Все это приводит к флуктуациям показателя преломления на расстояниях, сопоставимых с длиной волны излучения. Наличие таких пространственных флуктуаций вызывает рассеяние света, известное как рэлеевское, которое приводит к выводу части энергии излучения из сердцевины в оболочку, а следовательно, к потерям. Выражение для расчета релеевских потерь, приведенное в [3], с учетом значения констант имеет вид:

$$\alpha_{\text{расс}} = C \cdot \left(n_1^2(\lambda) - 1 \right) \cdot \lambda^{-4}, \qquad (1)$$

где $C = 0{,}6 \cdot 10^{-24}$ дБ·мкм^4/км; n_1 – показатель преломления сердцевины; λ – длина волны света, мкм. Результаты соответствующего расчета приведены в табл. 1 при $n_1 = 1{,}466$.

Потери в материале. В кварцевом волокне наблюдается три основных пика поглощения – один в инфракрасной области (ИК) и два – в

ультрафиолетовой (УФ): $\alpha_{погл} = \alpha_{ик} + \alpha_{уф}$. Строгий количественный теоретический анализ и точный расчет зависимостей этих коэффициентов от длины волны оказывается чрезвычайно сложным и практически малопригодным для инженерных приложений, что заставляет искать сравнительно простые аналитические выражения, достаточно хорошо аппроксимирующие результаты строгого анализа. Такие выражения, полученные на основе анализа кривых потерь в ИК- и УФ-областях, приведены в [4]

$$\alpha_{ик} = 10^{(-21,9/\lambda + 12,4)}; \quad (2)$$

$$\alpha_{уф} = 10^{2/\lambda} / 2154. \quad (3)$$

Тогда общее затухание равно: $\alpha_{соб} = \alpha_{расс} + \alpha_{уф} + \alpha_{ик}$. В табл. 1 представлены результаты расчета значения $\alpha_{расс}$, $\alpha_{уф}$, $\alpha_{ик}$ и $\alpha_{соб}$ для длин волн $\lambda = 1310$ и $\lambda = 1550$ нм.

Таблица 1

Результаты расчета потерь в ОВ

λ, нм	$\alpha_{расс}$, дБ/км	$\alpha_{ик}$, дБ/км	$\alpha_{уф}$, дБ/км	$\alpha_{соб}$, дБ/км
1310	0,23	$4,8 \cdot 10^{-5}$	0,0156	0,246
1550	0,12	0,019	0,009	0,148

Известно, что абсолютный минимум потерь приходится на $\lambda = 1550$ нм [1]. Для лучших образцов промышленных одномодовых волокон потери на этой длине волны составляют 0,16÷0,19 дБ/км и 0,29÷0,32 дБ/км на $\lambda = 1310$ нм.

При анализе был получен результат несколько меньший по сравнению с тем, что приводят фирмы-производители, но этого и следовало ожидать, так как не был учтен такой фактор, как затухание света на *микроизгибах* ОВ.

Компании Sumitomo удалось установить в 2002 г. новый рекорд в достижении минимальных потерь в одномодовом волокне: 0,151 дБ/км на $\lambda = 1568$ нм. Предыдущий рекорд 0,154 дБ/км был установлен еще в 1986 г. и рассматривался как практический предел. Сердцевина ОВ была из чистого кварца, а оболочка была легирована фтором. Потери складывались следующим образом: рэлеевское рассеяние – 0,128 дБ/км, инфракрасное поглощение – 0,014 дБ/км, примеси OH – 0,004 дБ/км и несовершенство волокна, обусловленное затуханием света на микроизгибах – 0,004 дБ/км.

Потери на микроизгибах. Микроизгибы представляют собой мелкие локальные нарушения прямолинейности волокна, характеризуемые

смещениями его оси в поперечных направлениях на участке микроизгиба. Основными причинами появления микроизгибов являются локальные поперечные механические усилия различного происхождения, приложенные к очень малым участкам волокна [5].

Особенностями микроизгибов является то, что они, как правило, многочисленны, статистически распределены вдоль ОВ, причем расстояние между соседними микроизгибами, существенно больше их ширины. Практика показывает, что удельный вес потерь, создаваемых микроизгибами, рассеянными вдоль ОВ, может быть существенным. Вследствие микроизгиба происходит ограничение апертуры потока излучения, распространяющегося по ОВ, и часть энергии излучается вне оптического волокна.

Если исходное ОВ имеет микроизгибы, то после покрытия его защитной оболочкой вся рассеиваемая мощность будет поглощена, следовательно, мощность потерь на микроизгибе увеличится по сравнению с потерями до покрытия оболочкой.

Основными причинами появления микроизгибов в ОВ являются дефекты: намотки на приемную кассету в процессе вытяжки волокна, перемотки, укладки и его хранения.

Для оценки затухания на микроизгибах от высоты (радиуса) изгиба h и количества изгибов N в первом приближении можно воспользоваться следующим выражением [6]:

$$\alpha_{\text{микро}} = 32Nh^2d^4n_1^2\left(DNA\right)^{-6}, \qquad (4)$$

где N – количество микроизгибов на 1 км; h – высота (радиус) микроизгиба, мкм; d – диаметр сердцевины, мкм; D – диаметр оболочки, мкм; NA – числовая апертура.

Микроизгиб – это смещения оси ОВ в поперечном направлении, сравнимые с диаметром сердцевины, что приводит к отклонениям от округлости сердцевины и появлениям эллиптичной формы. Поэтому величина h будет зависеть от некруглости сердцевины (неконцентричности сердцевины), а эта величина указывается в характеристиках на ОВ. Для одномодового оптического волокна почти у всех производителей ОВ некруглость сердцевины составляет 5% от диаметра сердцевины d или 2÷2,5% от радиуса, неконцентричность сердцевины составляет менее 0,5 мкм.

Полагая величину $h = 0{,}02d$ при d = 6÷8 мкм, величина h может меняться в пределах 0,1÷0,2 мкм. Очевидно, что при значении h = 0,1÷0,2 мкм, значение $\alpha_{\text{микро}}$ будет изменяться в пределах от $2{,}4\cdot10^{-4}$ дБ до $9{,}4\cdot10^{-4}$ дБ.

Оценим возможное число N микроизгибов на длине 1 км. Сопоставим минимальное значение затухания в оптическом волокне $\alpha_{эксп}$, приводимое фирмами производителями ОВ, с расчетами $\alpha_{соб}$.

Определим значение $\Delta\alpha = \alpha_{эксп} - \alpha_{соб}$, и предположив, что значение $\Delta\alpha$ образуется за счет, только микроизгибов ОВ найдем число микроизгибов на один километр $N = \Delta\alpha / \alpha_{микро}$. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Исходя из данных источника [7], на λ = 1568 нм экспериментальное затухание было равно $\alpha_{экс} = 0{,}151$ дБ/км, а $\alpha_{соб}$ получилось равным 0,15025 дБ/км, следовательно, количество микроизгибов *N* = 1÷3. Это говорит о том, что в настоящее время технологии изготовления ОВ позволяют производить волокна очень хорошего качества с небольшим числом микроизгибов *N* или с минимальным значением высоты (радиуса) микроизгиба *h*.

Из табл. 2 следует, что в последние годы за счет совершенствования технологии изготовления оптических волокон число микроизгибов уменьшается и составляет от 150 до 1 на 1 км при величине *h*, изменяющейся в приделах 0,1÷0,2 мкм.

Таблица 2

Результаты расчетов $\Delta\alpha$

λ, нм	$\alpha_{эксп}$, дБ/км	$\alpha_{соб}$, дБ/км	$\Delta\alpha$, дБ/км	$N_{max/min}$	Источник информации, год
1310	0,32	0,25044	0,0695615	290÷74	Corning SMF-28e
1310	0,31	0,25044	0,0595615	248÷63	[7], 1986 год
1310	0,29	0,25044	0,0395600	165÷42	[1], 1990 год
1550	0,2	0,14751	0,0524900	219÷56	Corning SMF-28e
1550	0,18	0,14751	0,0324900	135÷34	[7], 1986 год
1550	0,16	0,14751	0,0124900	52 ÷ 13	[1], 1990 год
1568	0,154	0,15025	0,0037506	16 ÷ 4	[1], 1986 год
1568	0,151	0,15025	0,0007506	3 ÷ 1	[1], 2002 год

Литература

1. *Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В.* Оптические волокна для линии связи. М.: ЛЕСАРарт, 2003. 288 с.

2. *Акопов С.Г., Корнильева А.И., Москалева Ю.В.* Проблема выбора оптического волокна // Электросвязь. № 4. 2007. С. 56–57.

3. *Теумин И.И.* Волноводы оптической связи. М.: Связь, 1978. 168 с.

4. *Чео П. К.* Волоконная оптика: Приборы и системы: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1988. 280 с.: ил.

5. *Ефанов В.И.* Направляющие системы электросвязи. Ч. 2. Волоконно-оптические линии связи: Учебно-методическое пособие. Томск: ТУСУР, 2007. 163 с.

6. *Ларин Ю.Т.* Оптические кабели: методы расчета конструкций. – М.: Престиж, 2006. 304 с.: ил.

7. *Ксенофонтов С.Н., Портнов Э.Л.* Направляющие системы электросвязи. Сборник задач: Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 268 с.: ил.

ДВУХВОЛНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛЬНОГО ПУЧКА

А.А. Ефанов, студент 5-го курса ФЭТ; А.А. Колегов, аспирант каф. ЭП

ТУСУР, г. Томск, bni@fet.tusur.ru

Введение

Двухволновое взаимодействие представляет большой интерес, так как является основой для многих устройств обработки информации и адаптивной интерферометрии [1]. Адаптивные интерферометры могут использоваться для конструирования систем неразрушающего контроля, т.е. для мониторинга состояния технических и технологических объектов [2]. В таких системах могут использоваться волоконно-оптические датчики [3].

В настоящей работе приведены экспериментальные результаты взаимодействия световых волн в кристалле титаната висмута, легированным кальцием и галлием, при фазовой модуляции сигнального пучка. Приведено сопоставление с теоретической моделью, приведенной в работе [4]. Проведенные исследования являются основой для создания адаптивных интерферометров.

Экспериментальное исследование взаимодействия световых волн в кристалле силиката висмута с фазовой модуляцией сигнальной волны

Схема экспериментальной установки для исследования взаимодействия опорного светового пучка с модулированным по фазе сигнальным пучком на формируемой ими отражательной голографической решетке в кубическом фоторефрактивном кристалле представлена на рис. 1. В качестве источника излучения использовался твердотельный с диодной накачкой лазер с длиной волны λ = 532 нм, выходной мощностью 50 мВт, гауссовым распределением амплитуды и линейной поляризацией. Отражательная голограмма формировалась распространяющимися во встречных направлениях световыми пучками с интенсивностями I_P и I_S, имеющими правую и левую круговую поляризацию соответственно,

которая задавалась четвертьволновыми пластинками ЧВП. Формирование отражательных голограмм после включения пучков сигнала и накачки происходило в условиях развития фотоиндуцированного поглощения света и сопровождалось эффектами самодифракции. Фазовая модуляция сигнального пучка осуществлялась зеркалом, приклеенным к диффузору динамика. Интенсивность сигнального пучка содержала постоянную составляющую и гармоники частоты модуляции. Зависимости амплитуд гармоник нулевой, первой и второй от амплитуды фазовой модуляции, измеренные при помощи фотодиодов, селективного вольтметра и осциллографа, представлены точками на рис. 2.

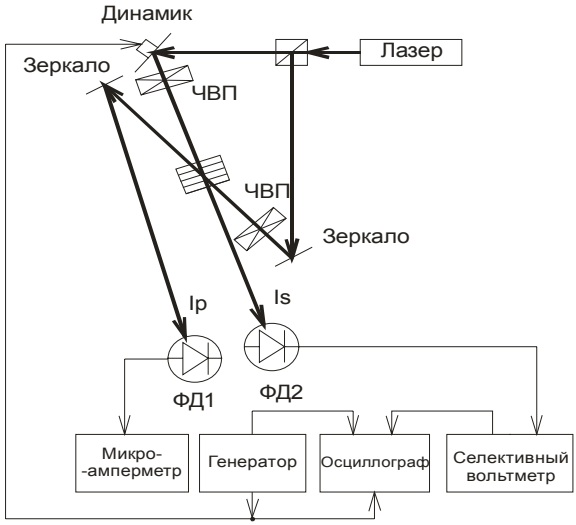


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования взаимодействия световых волн с фазовой модуляцией сигнальной волны в кристалле титаната висмута

В качестве экспериментального образца использовался кристалл титаната висмута среза (111).

Согласно работы [4] амплитуды постоянной составляющей, первой и второй гармоник временной модуляции интенсивности сигнального пучка пропорциональны следующим разложениям по функциям Бесселя:

$$I_{S0} \sim J_0^2(\varphi_m)\exp(-\Gamma' d) + 2\left[J_1^2(\varphi_m) + J_2^2(\varphi_m) + \ldots\right],$$

$$I_{S1} \sim 4J_0(\varphi_m)J_1(\varphi_m)\exp\left[-\frac{\Gamma' d}{2}\right]\sin\left[\frac{\Gamma'' d}{2}\right],$$

$$I_{S2} \sim 4J_0(\varphi_m)J_2(\varphi_m)\exp\left[-\frac{\Gamma' d}{2}\right]\cos\left[\frac{\Gamma'' d}{2}\right] - 2\left[J_1(\varphi_m)\right]^2 +$$

$$4\left[J_1(\varphi_m)J_3(\varphi_m) + J_2(\varphi_m)J_4(\varphi_m) + J_3(\varphi_m)J_5(\varphi_m) + \ldots\right],$$

где φ_m – амплитуда фазовой модуляции, а Γ' и Γ'' – постоянные связи для двухпучкового взаимодействия на нелокальной и локальной компонентах отражательной решетки, соответственно.

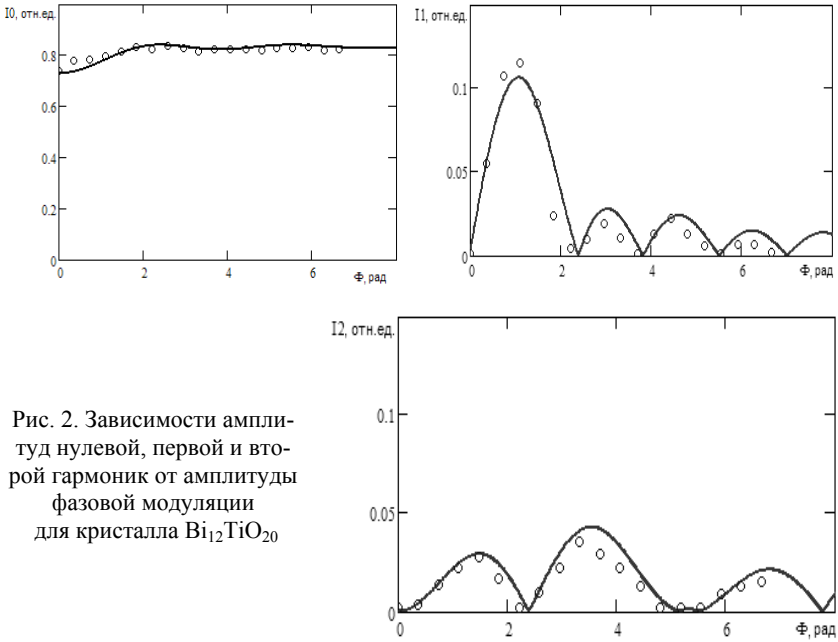


Рис. 2. Зависимости амплитуд нулевой, первой и второй гармоник от амплитуды фазовой модуляции для кристалла $Bi_{12}TiO_{20}$

Как видно из представленных рисунков, теоретические и экспериментальные результаты хорошо согласуются, что свидетельствует о достаточно хорошем описании процессов, происходящих при формировании фоторефрактивной решетки, используемой моделью.

Заключение

Экспериментально полученные зависимости амплитуд нулевой, первой и второй гармоник от амплитуды фазовой модуляции в кристалле силиката висмута хорошо согласуются с результатами проведенного теоретического анализа.

Проведенный анализ показал наличие локальной и нелокальной компонент фоторефрактивного отклика.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 гг.)». Благодарим за поддержку и научные консультации С.М. Шандарова.

Литература

1. *Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В.* // Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992. 320 с.

2. *Kamshilin A.A., Jaaskelainen T., Kulchin Yu.N.* // Appl. Phys. Lett. 1998. V. 73. P. 705.

3. *Кульчин Ю.Н.* // Адаптивные распределенные оптоэлектронные информационно-измерительные системы. УФН, 2003. Т. 173. № 8.

4. *Буримов Н.И., Шандаров С.М., Быков В.И., Колегов А.А., Ромашко Р.В., Кульчин Ю.Н., Каргин Ю.Ф., Волков В.В.* Двухволновое взаимодействие на динамических отражательных голограммах в кубических фоторефрактивных кристаллах при фазовой модуляции сигнального пучка // Химия высоких энергий. 2008. Т. 42. № 4.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ «ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ»

С.В. Егоров, В.Г. Миргород, П.В. Чернов, студенты 5-го курса РТФ;
В.И. Ефанов, к.т.н., доцент СВЧиКР
ТУСУР, г. Томск, evi@main.tusur.ru

В настоящее время широкое применение получили волоконно-оптические системы передачи информации на основе оптических волокон (ОВ). Процессы распространения излучения в ОВ и механизмы потерь в них важны для понимания современного специалиста в области телекоммуникаций. Сложность исследования таких процессов обуславливается как сложностью и дороговизной оборудования, так и малыми для наблюдения областями взаимодействия.

Учебно-методический и программный комплекс виртуальных лабораторных работ «Исследование физических процессов в оптических линиях связи» предназначен для расчета и оптимизации характеристик как волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), так и атмосферных оптических линий связи (АОЛС).

Программный комплекс состоит из 6 программ, включающих в себя исследования по следующим направлениям: исследование атмосферных оптических линий связи; исследование эффективности ввода излучения в ОВ; исследование дисперсии многомодовых ОВ; исследование дисперсии одномодовых ОВ; исследование затухания оптических сигналов в

ОВ; расчет длины регенерационного участка в волоконно-оптической линии связи.

В каждой программе предусмотрены средства для описания лабораторной работы и программного обеспечения, ввода исходных данных. Также предусмотрены средства для визуализации результатов расчета в виде наглядного графического изображения лабораторного макета с учетом входных данных, а также прикладные модули для численного расчета используемых функций. В пособиях [1, 2] приведена математическая модель, положенная в основу программного обеспечения.

При заданных основных параметрах ОВ в случае исследования ВОЛС и внешних условиях атмосферы для АОЛС:

- метеорологической дальности видимости,
- радиусе входного модового поля,
- процентном составе кварцевого волокна,
- профиле показателя преломления оптического волокна,
- типу источника и согласующей системы,
- длине волны и ширине спектра источника,
- диаметрам сердцевины и оболочки,

Программный комплекс позволяет рассчитать следующие характеристики:

- затухание сигнала при его распространении в ОВ с учетом спектральной его зависимости при исследовании ВОЛС;
- определить эффективность ввода излучения в ОВ в зависимости от типа и параметров согласующей системы;
- спектральную зависимость показателей преломления сердцевины ОВ;
- спектральную зависимость коэффициентов хроматической и межмодовой дисперсий ОВ;
- провести оптимизацию длины регенерационного участка в волоконно-оптических системах связи;
- затухание сигнала при его распространении в атмосфере при исследовании АОЛС;
- уширение апертуры пучка при его распространении в АОЛС;
- определить оптимальное расположение приемных и передающих модулей при проектировании АОЛС.

Результаты расчетов представляются в графическом виде с возможностью трассировки. Внешний вид программного обеспечения представлен на рис. 1.

Программный комплекс также позволяет подобрать условия для достижения требуемых параметров оптической линии связи, длину волны излучения, ширину спектра источника, мощность передатчика и чувствительность приемного модуля, длины регенерационного участка с учетом методов компенсации дисперсии.

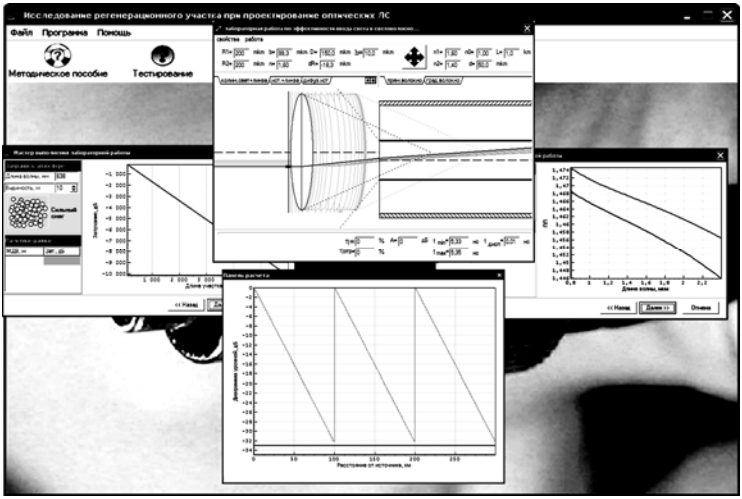


Рис. 1. Внешний вид программного комплекса

Программное обеспечение предназначено для студентов технических вузов по направлению «Телекоммуникации», «Радиотехника» для проведения лабораторных работ при изучении волоконно-оптических и атмосферных линий связи; аспирантов и инженерно-технических работников, обучающихся на курсах повышения квалификации.

Программное обеспечение выполнено в среде разработки Borland Delphi 7.0. Программа может быть использована как одним пользователем для самостоятельного изучения, так и для использования в учебной аудитории при множественном одновременном доступе.

Программный комплекс зарегистрирован в Отраслевом центре регистрации программ и алгоритмов (Москва, см. [3]) и используется при проведении лабораторных работ у слушателей Факультета повышения квалификации Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР, Томск), а также студентов кафедры СВЧ и КР ТУСУР по специальности 210401 «Физика и техника оптической связи».

Литература

1. *Ефанов В.И.* Электрические и волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие. Томск: Томский гос. университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. 256 с.

2. *Павлов Н.М.* Классификация аппаратуры и методика определения длины АОЛП // Технологии и средства связи. 2004. Спец. Выпуск. Системы абонентского доступа. С. 74

3. *Ефанов В И., Миргород В.Г., Чернов П.В., Егоров С.В.* Учебно-методический и программный комплекс виртуальных лабораторных работ «Исследование физических процессов в оптических линиях связи». М.: ВНТИЦ, 2008. № 50200800461. (Свидетельство № 10059 о регистрации в «Отраслевом фонде алгоритмов и программ» от 28.02.2008. Москва).

ОПТИЧЕСКОЕ ИНДУЦИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ТРАНСПАРАНТОВ НА ОСНОВЕ ФОТОРЕФРАКТИВНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО

О.С. Фадеева, студентка 4-го курса; В.М. Шандаров, д.ф.-м.н., проф.
ТУСУР, г. Томск, stan@svch.rk.tusur.ru

Оптически индуцированные элементы – фазовые транспаранты на основе фоторефрактивного интерферометра Фабри-Перо представляют существенный интерес с точки зрения реализации как множества экспериментов в области нелинейной оптики, так и их использования в оптических приборах [1]. Целью данной работы явилось исследование возможности формирования фазовых транспарантов на основе плоскопараллельных кристаллических образцов ниобата лития ($LiNbO_3$) с поверхностью, легированной фоторефрактивными примесями (Fe и Cu). Подобные образцы, по сути, являются нелинейными интерферометрами Фабри-Перо.

На рис. 1 приведена схема экспериментов. Излучение He-Ne лазера с длиной волны λ = 633 нм и мощностью P = 1 мВт в виде пучка диаметром ~0,5 мм проходит через пластину $LiNbO_3$:Fe:Cu Y среза с толщиной от 1 до 3 мм. Освещенная область может дополнительно облучаться излучением с λ = 532 нм (твердотельный YAG:Nd^{3+} лазер с удвоением частоты). Приповерхностная область кристалла легирована ионами Fe и Cu путем диффузии при температурах 900÷1000ºС. Глубина диффузии Fe меняется для разных образцов от 20 до 50 мкм, Cu – от 50 до 200 мкм. Поляризация света соответствует необыкновенной волне в кристалле. Прошедшее световое поле изучается с помощью ПЗС видеокамеры, сопряженной с персональным компьютером.

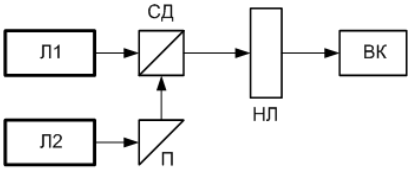
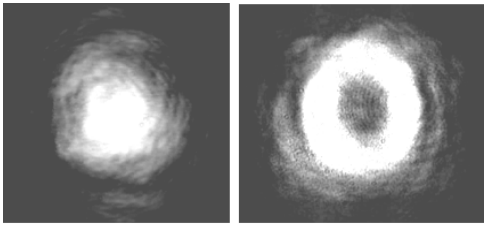


Рис. 1. Схема эксперимента: Л1 – He-Ne лазер; Л2 – YAG:Nd^{3+} лазер; СД – светоделительный кубик; П – призма; НЛ – пластина $LiNbO_3$; ВК – видеокамера

Изменение распределения интенсивности в световом пучке (λ = 633 нм, P = 1 мВт), прошедшем через образец, иллюстрируется для одного из них картинами на рис. 2. В начальные моменты пучок имеет гауссову форму (рис. 2, *а*). После экспонирования в течение некоторого времени световое поле в его поперечном сечении существенно изменяется. В центральной области интенсивность света снижается практически до нуля (рис. 2, *б*). В последующем она опять возрастает, а темная граница сдвигается на периферию. В отраженном от поверхности образца световом пучке темным областям в прошедшем пучке соответствуют освещенные области и наоборот.

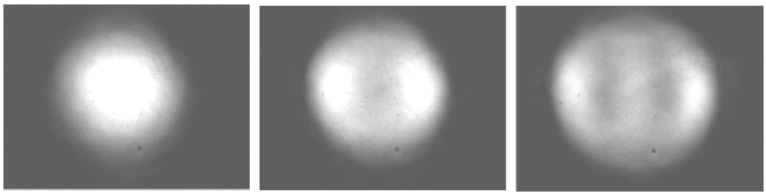


а *б*

Рис. 2. Распределение интенсивности света в прошедшем световом пучке в начальный момент (*а*) и через 4 ч (*б*)

Эксперименты показали, что наблюдаемые явления обусловлены эффектом Фабри–Перо, т.е. многократным переотражением светового пучка в пластине. Прошедшее поле представляет собой результат многолучевой интерференции. Вследствие фоторефрактивных свойств образца, при его экспонировании в освещенной области индуцируется оптическая неоднородность (отрицательная линза), поперечный профиль которой определяется распределением интенсивности в пучке [2]. Соответственно для прошедшего пучка в разных его точках фазовый сдвиг между первой прошедшей через образец и последующими вторичными световыми волнами меняется. В результате распределение интенсивности по его апертуре может существенно отличаться от начального.

Фоторефрактивная чувствительность образцов $LiNbO_3$:Fe:Cu при λ = 633 нм не очень высока и время экспонирования образца составляло до нескольких часов при P = 1 мВт. Время генерации нелинейных линз существенно снижалось при использовании излучения с λ = 532 нм с мощностью 5–7 мВт. Для оптического зондирования наведенной линзы использовался как сам формирующий пучок, так и излучение He-Ne лазера. Картины эволюции распределений интенсивности для излучения с λ = 532 нм, P = 5 мВт представлены на рис. 3. В данном случае время формирования нелинейной линзы составляет единицы минут.



t = 0 *t* = 2 мин *t* = 6 мин

Рис. 3. Распределения интенсивности света в прошедшем световом пучке (λ = 532 нм)

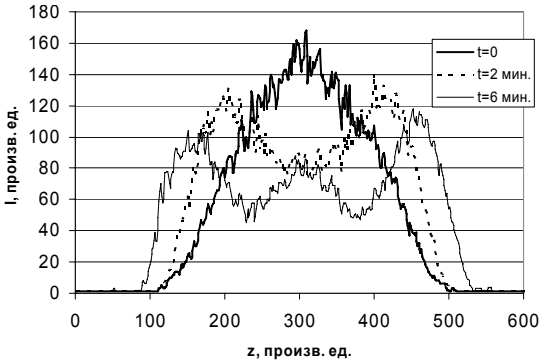


Рис. 4. Профили интенсивности светового пучка (λ = 532 нм)

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 06-02-39017 и 06-02-81040-Бел_а).

Литература

1. *Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В.* Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992.

2. *Карпушин П.А., Круглов В.Г., Гусев А.В., Шандаров В.М., Кип Д., Рютер Х.* Исследование влияния коротковолнового излучения видимого диапазона на оптическое пропускание фоторефрактивных образцов ниобата лития // Известия вузов. Томск: ТГУ. 11. 2006. С. 76–78.

КАНАЛЬНЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ СТРУКТУРЫ, ОПТИЧЕСКИ ИДНУЦИРОВАННЫЕ ПРОЕКЦИОННЫМ МЕТОДОМ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

А.В. Гусев, студент 5-го курса; В.М. Шандаров, д.ф.-м.н., проф.

ТУСУР, г. Томск, gav@ms.tusur.ru

Методы оптического индуцирования элементов в объеме или на чувствительной поверхности электрооптических кристаллов, легирован-

ные фоторефрактивными примесями, дают возможность формирования периодических и квазипериодических нелинейных волноводных структур со сложной топологией и возможностью их оперативной оптической реконфигурации [1, 2]. На основе таких структур могут быть построены оптически управляемые элементы фотоники, пассивные планарные дифракционные структуры для преобразования профилей световых пучков, оптические коммутаторы и другие базовые элементы оптических сетей связи и систем оптической обработки информации [3].

Целью данной работы явилась демонстрация возможностей формирования канальных волноводно-оптических структур в объемных фоторефрактивных образцах ниобата лития ($LiNbO_3$) и в образцах $LiNbO_3$ с легированием поверхности комбинацией ионов Fe и Cu, с помощью проекционного метода и когерентного излучения с длиной волны $\lambda = 633$ нм (непрерывный твердотельный YAG:Nd^{3+} лазер с удвоением частоты).

Схемы экспериментов по формированию и исследованию волноводных структур приведены на рис. 1, 2.

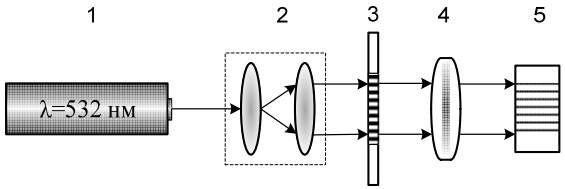


Рис. 1. Схема эксперимента по оптическому индуцированию канальных волноводных структур в образцах $LiNbO_3$

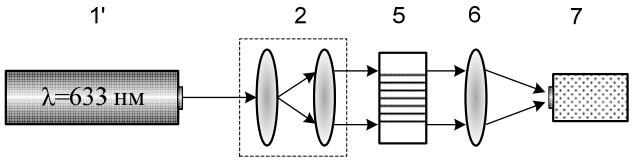


Рис. 2. Схема эксперимента по исследованию канальных волноводных структур в образцах $LiNbO_3$. 1 – лазер; 2 – коллиматор; 3 – фотошаблон; 4 – цилиндрическая линза; 5 – кристалл $LiNbO_3$; 6 – линза сферическая; 7 – ПЗС камера

Индуцирующее излучение лазера 1 коллимировалось системой линз 2 и световой пучок с диаметром более 20 мм освещал поверхность амплитудного транспаранта (фотошаблон с системами непрозрачных полосок разной конфигурации с шириной и расстоянием между полосками от 20 до 40 мкм). Изображение транспаранта проецировалось на поверхность или в объем фоторефрактивного кристалла 5 с помощью сфериче-

ских или цилиндрических линз 4. Максимальная мощность излучения составляла 50 мВт. Оптическая система 4 позволяла масштабировать изображение по двум (сферические линзы) или по одной (цилиндрические) координате. При исследовании сформированных структур использовалось излучение He-Ne лазера с длиной волны 633 нм и мощностью 1 мВт. В этом случае полученные структуры зондировались необыкновенно поляризованным световым пучком в направлении, нормальном к плоскости структуры, либо в направлении вдоль ее штрихов.

При формировании структур в образце $LiNb:O_3:Fe:Cu$ с легированной поверхностью мощность индуцирующего излучения составляла 50 мВт, время экспозиции менялось от 5 мин до 1 ч. При зондировании в направлении нормали к их плоскости и времени экспозиции более 30 мин наблюдались картины дифракции Рамана-Ната на полученной решетке с числом дифракционных порядков до 5. Картина дифрагированного светового поля в ближней зоне на многоэлементной решетке представлена на рис. 4. Для сравнения здесь же представлена картина распределения интенсивности индуцирующего излучения в плоскости, соответствующей положению поверхности кристалла (рис. 3). Низкий контраст изображения в ближней зоне дифракции света на индуцированной структуре обусловлен малой ее толщиной (~50 мкм), что подтверждается низкой относительной интенсивностью первого дифракционного порядка в дифракционном поле в дальней зоне, составившей ~3,4%.

Рис. 3. Структура фотошаблона с периодом 80 мкм

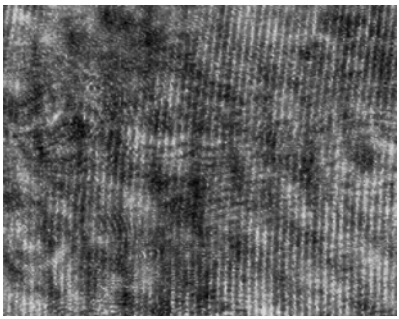


Рис. 4. Сформированная структура на поверхности кристалла

Результаты экспериментов продемонстрировали возможность использования когерентного коротковолнового излучения и проекционного метода для формирования периодических волноводных структур в фоторефрактивных образцах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 06-02-39017-ГФЕН-а и 06-02-81040-Бел_а) и Министерства образования и науки РФ (грант 2.1.1.2097).

Литература

1. *Кившарь Ю.С., Агравал Г.П.* Оптические солитоны. М.: Физматлит, 2005. 648 с.

2. *Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В.* Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. М.: Наука, 1992. 315 с.

3. *Каншу А.В., Шандаров В.М.* Исследование оптических элементов, формируемых некогерентным излучением в фоторефрактивных образцах ниобата лития. Дипломная работа. Томск: ТУСУР, 2006. 90 с.

ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА, ЛЕГИРОВАННОМ МЕДЬЮ

В.И. Иткин, аспирант;

Т.Н. Дудик, О.В. Позак, М.С. Ивасенко – студенты 3-го круса РТФ

ТУСУР, г. Томск, ivi@stack.ru

Облучение фоторефрактивных кристаллов титаната висмута ($Bi_{12}TiO_{20}$) светом из видимой и ближней ИК-области спектра приводит к обратимому изменению оптического поглощения [1, 2], причиной которого считается перезарядка дефектных центров с различными сечениями фотоионизации [3, 4]. Эффективным способом воздействия на фотохромные характеристики кристаллов титаната висмута является легирование этих кристаллов [2, 5, 6].

В данной работе приведены результаты исследований динамики фотоиндуцированного поглощения света в кристалле титаната висмута, легированного медью при облучении его квазихроматическим светом полупроводниковых светодиодов на длинах волн $\lambda = 660$, 570 и 505 нм.

Измерения проводились на образце $Bi_{12}TiO_{20}$:Cu (0,04 вес. % Cu) толщиной $d = 0{,}55$ мм на установке, описанной в работе [4]. Временные зависимости изменений в поглощении при облучении образца светом с длинами волн $\lambda \approx 505$, 570, 660 нм представлены кружками на рис. 2. Характерно, что на всех длинах волн наблюдается переход от начального быстрого участка роста $\Delta\alpha$ к медленному, затем зависимость $\Delta\alpha(t)$ выходит на уровень, близкий к стационарному. Скорость изменений в поглощении и стационарный уровень $\Delta\alpha$ существенно возрастают с уменьшением длины волны облучающего света.

Для описания динамики фотоиндуцированных эффектов в фоторефрактивных кристаллах обычно используются скоростные уравнения для концентрации электронов в зоне проводимости, а также для концентраций ионизированных доноров и ловушек, захвативших электроны. Все используемые динамические модели предполагают наличие дискретного энергетического спектра дефектных центров в запрещенной зоне кристалла. Поэтому заменим реальный энергетический спектр доноров и ловушек в кристалле титаната висмута его дискретной моделью, использующей предложенную в работе [7] модель донорно-ловушечной пары (рис. 1).

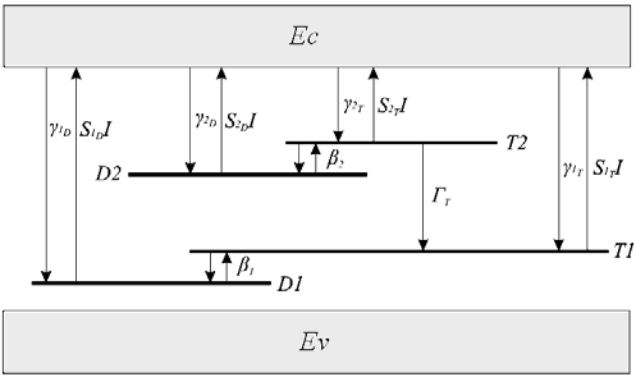


Рис. 1. Схема энергетических уровней в запрещенной зоне кристалла

Модель предполагает наличие основного и промежуточного уровней в запрещенной зоне кристалла. Основной уровень сопоставлен разделенным потенциальным барьером донорам $D1$ и ловушкам $T1$. Промежуточный уровень сопоставлен донорам $D2$ и ловушкам $T2$ и находится ближе к дну зоны проводимости, чем основной уровень.

Под действием света происходит генерация электронов в зону проводимости с неионизированных доноров $D1$, $D2$ и ловушек $T1$, $T2$ заполненных электронами. Рекомбинация электронов возможна на ионизированные донорные центры и пустые ловушки. В результате освещения кристалла светом с интенсивностью I, в нем происходит перераспределение электронов по уровням. С ловушек $T2$ захваченные электроны могут туннелировать на ловушки $T1$ со скоростью определяемой коэффициентом Гт. Принимается во внимание возможность фотовозбуждения электронов в зону проводимости с уровней $D1$, $D2$ и $T1$, $T2$ имеющих эффективные сечения ионизации S_{1D}, S_{2D} и S_{1T}, S_{2T} соответственно. Скорости рекомбинации на эти центры характеризуются коэффициентами γ_{1D}, γ_{2D}, γ_{1T}, γ_{2T}.

В рамках принятых приближений была составлена система скоростных уравнений, описывающих перераспределение зарядов по дефектным и примесным центрам под действием пространственно однородного освещения.

При численном моделировании динамики фотоиндуцированного поглощения были подобраны материальные параметры кристалла, при которых теория воспроизводит характерные особенности поведения коэффициента поглощения кристалла при его облучении излучением с длинами волн 660, 570 и 505 нм (рис. 2, сплошные кривые).

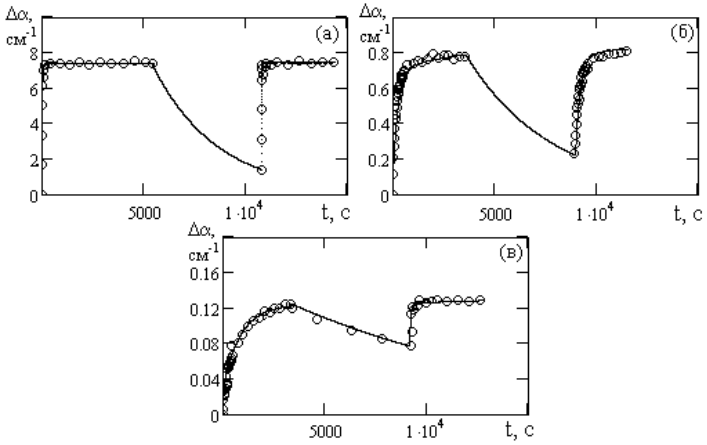


Рис. 2. Расчетная (сплошные кривые) и экспериментальная (точки) зависимости динамики фотоиндуцированного поглощения в кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$:Cu на длинах волн: *а* – 660, *б* – 570 и *в* – 505 нм

Сравнение теоретических кривых с экспериментальными зависимостями показывает, что предложенная модель удовлетворительно описывает переход от быстрого начального участки нарастания фотоиндуцированного поглощения к медленному, стационарный уровень и темновую релаксацию наведенных изменений в поглощении.

Работа выполнена в рамках программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 гг.)».

Литература

1. *Малиновский В.К., Гудаев О.А. Гусев В.А., Деменко С.И.* Фотоиндуцированные явления в силленитах. Новосибирск: Наука, 1990. 160 с.

2. *Каргин Ю.Ф., Бурков В.И., Марьин А.А., Егорышева А.В.* Кристаллы Bi12MxO20-δ со структурой силленита. Синтез, строение, свойства. М.: ИОНХ РАН, 2004. С. 312.

3. *Buse K.* Light-induced charge-transport processes in photorefractive crystals 2: Materials // Appl.Phys. B. 1997. Vol. 64. P. 273–291.

4. *Мандель А.Е., Плесовских А.М., Шандаров С.М. и др.* Фотоиндуцированное поглощение в кристаллах титаната висмута для узкополосного светового излучения // Изв. вузов. Физика. 2003. № 12. С. 48–54.

5. *Mersch F., Buse K., Sauf W., Hess H., Kratzic E.* Growth and characterization of undoped and doped $Bi_{12}TiO_{20}$ crystals // Phys.Stat. Sol.(a). 1993. Vol. 140. P. 273–281.

6. *Kargin Yu.F., Egorysheva A.V., Volkov V.V., Burkov V.I., Shandarov S.M., Mandel A.E., Skorikov V.M.* Growth and characterization of doped $Bi_{12}TiO_{20}$ single crystals // J. Crystal Growth. 2005. Vol. 275. № 1–2. P. 779–784.

7. *Shandarov S.M., Polyakova L.E., Mandel A.E., Kisteneva M.G., Vidal J., Kargin Yu.F, Egorysheva A.V.* Temperature dependences of optical absorption and its light-induced changes in sillenite crystals // Proceedings of SPIE. 2007. Vol. 6595. P. 124–131.

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ РЕШЕТОК В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА СВЕТОВЫМИ ПУЧКАМИ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

А.С. Лапоухов*[1], *м.н.с., аспирант; И.Н. Агишев*[2], *зав. лабораторией

[1] *ТУСУР, г. Томск, shand@stack.ru*

[2] *БГУ, Белоруссия, г. Минск, agishev@bsu.by*

Кристаллы титаната висмута ($Bi_{12}TiO_{20}$), относящиеся к семейству силленитов, являются перспективными фоторефрактивными материалами, сфера использования которых в различных оптических устройствах заметно расширяется [1].

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования записи отражательной голографической решетки в кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$ излучением импульсного и непрерывного лазеров на иттрий-алюминиевом гранате с длиной волны 532 нм.

Эксперименты проводились на монокристаллическом образце $Bi_{12}TiO_{20}$, имеющем толщину $d = 1,6$ мм вдоль кристаллографического направления (100). Схема экспериментальной установки, подробно описанная в работе [2], представлена на рис. 1. В результате интерференции встречных пучков в объеме кристалла возникала пространственно неоднородная засветка. Фотогенерация и перераспределение носителей заряда индуцировали электрическое поле, которое модулировало диэлектрическую проницаемость кристалла и создало фоторефрактивную голографическую решетку.

Ориентация вектора поляризации падающего излучения задавалась при помощи поляризатора П. Интенсивности прошедшего через кри-

сталл и отраженного от задней грани пучка измерялись при помощи фотодиодов ФД1 и ФД2, соответственно. Средняя интенсивность излучения как импульсного, так и непрерывного лазеров составляла ~ 50 мВт/см^2, при этом импульсный лазер работал в режиме активной модуляции добротности на частоте 2 Гц с длительностью импульсов 15–20 нс и пиковой мощностью лазерного излучения порядка 1 МВт/см^2.

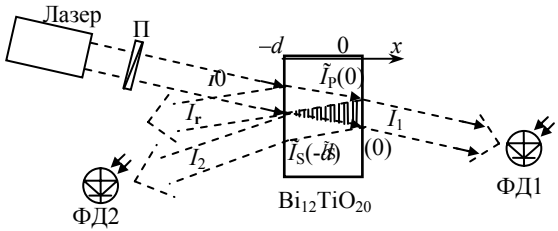


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Эффективность встречного векторного взаимодействия на фазовой отражательной решетке характеризуется коэффициентом усиления Γ_{eff}, который может быть выражен через интенсивности взаимодействующих волн в кристалле (см. рис. 1) в следующем виде [2]:

$$\Gamma_{eff} = \frac{1}{d}\ln\left\{\frac{\tilde{I}_S(-d)\tilde{I}_P(-d)}{\tilde{I}_S(0)\tilde{I}_P(0)}\right\}.$$

Анализ показывает, что для рассматриваемой схемы, в которой интенсивность накачки изменяется от импульса к импульсу и используются только два фотодиода (см. рис. 1), из экспериментальных данных может быть найдена только временная зависимость параметра $G(t) = \Gamma_{eff}(t) - \alpha(t)$ (α – коэффициент поглощения света, изменяющийся во времени вследствие явления фотоиндуцированного поглощения).

При соблюдении условия независимости коэффициента поглощения света от поляризации входного излучения значения функций $\Gamma_{eff}(t)$ и $\alpha(t)$ могут быть рассчитаны из значений параметров $G_{\pm}(t) = \pm\Gamma_{eff}(t) - \alpha(t)$, измеренных при одинаковых временах t для входной поляризации θ и $\theta + 90°$. В этом случае значения $\Gamma_{eff}(t)$ равны по величине, но противоположны по знаку [2].

Анализ представленных на рис. 2, *а* и 2, *б* зависимостей, рассчитанных из экспериментальных данных, показывает, что коэффициент двух-

пучкового взаимодействия, характеризующий процесс формирования динамической фоторефрактивной решетки, выходит на стационар за время порядка 100 с (экспозиция 5 Дж/см^2). При этом экспериментально полученные стационарные значения коэффициентов двухпучкового усиления составляют 0,76 см$^{-1}$ для импульсной записи и 0,35 см$^{-1}$ при использовании непрерывного лазерного излучения.

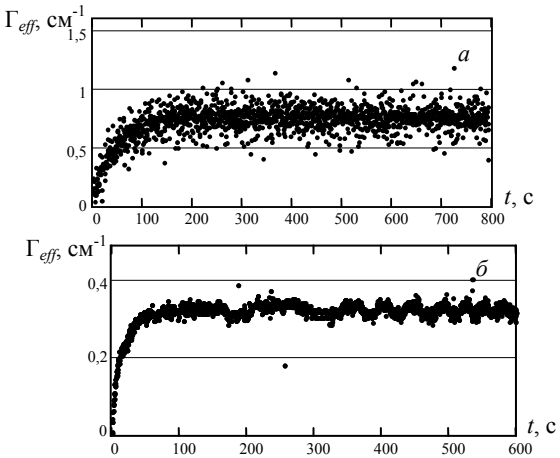


Рис. 2. Динамика коэффициента двухпучкового усиления при записи отражательной голографической решетки излучением импульсного (*а*) и непрерывного (*б*) лазера

Наблюдаемые различия в величине коэффициента двухпучкового усиления могут быть связаны с заселением различных долгоживущих энергетических уровней (ловушек), расположенных в запрещенной зоне кристалла. При использовании импульсного лазера с пиковой интенсивностью излучения порядка 1 МВт/см^2, кратковременный мощный выброс электронов в зону проводимости приводит к более эффективному заселению фотоактивных центров.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 г.)». Авторы благодарят за поддержку и научные консультации С.М. Шандарова и А.Л. Толстика.

Литература

1. *Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В.* Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОННЫХ СТРУКТУР В ФОТОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ С УЧЕТОМ ФОТОИНДУЦИРОВАННЫХ ЭФФЕКТОВ

В.Г. Миргород, студент 5-го курса;
С.Н. Шарангович, к.ф.-м.н., зав. каф. СВЧиКР
ТУСУР, г. Томск, rafinad@ms.tusur.ru

Фотонные структуры (ФС) в настоящее время интенсивно исследуются в связи с возможностью реализации элементов оптической связи, интегральной и дифракционной оптики. Одним из наиболее перспективных материалов для формирования ФС по дифракционным характеристикам, разрешающей способности и др. являются фотополимерные композиционные материалы (ФПКМ), в составе которых присутствует полимеризующаяся композиция и инертная вставка (FeO_2, $TieO_2$, жидкие кристаллы). Большинство работ, посвященных исследованию ФС в ФПКМ, являются экспериментальными [1, 2]. В [3] представлена теоретическая модель голографического формирования трехмерных ФС в ФПКМ с учетом взаимовлияния наложенных структур. Целью данной работы является развитие модели [3] с учетом эффектов фотоиндуцированного изменения оптического поглощения и коэффициента диффузии.

Процесс голографического формирования фотонной структуры в фотополимерных композитах можно описать в общем виде с помощью уравнений для показателя преломления n, подробно описанных в [3], решения которых представим для пространственного распределения n в виде суммы пространственных гармоник:

$$n(\tau,\mathbf{r}) = n_0(\tau) + \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} \sum_{h=1}^{H} n_{ij}^{h}(\tau,\mathbf{r}) \cos(h\mathbf{K}_{ij}\mathbf{r}) \quad , \qquad (1)$$

где $n^h_{ij} = n^{ph}_{ij} + n^{ih}_{ij}$ – амплитуды пространственных гармоник показателя преломления; n^{ph}_{ij}, n^{ih}_{ij} – составляющие n^h_{ij} за счет фотополимеризационного и диффузионного механизмов записи; N – количество записывающих пучков, формирующих НДР с $G = N(N-1)/2$ решетками с векторами решеток $\mathbf{K}_{ij}$ (рис. 1), каждая из которых содержит H гармоник.

Полученная из уравнений теории фотополимеризации, описанных в [3], система уравнений для амплитуд гармоник показателя преломления имеет следующий вид:

$$\begin{cases} M_n \dfrac{\partial n_0}{\partial \tau} = \delta n_p \mathrm{h} M_0 - \delta n_p \sum\limits_{i=1}^{N-1} \sum\limits_{j=i+1}^{N} c_{ij} M_{ij}^1 \\ M_n \dfrac{\partial n_{lf}^1}{\partial \tau} = \left(\delta n_i q_{lf}^2 + \mathrm{h}\delta n_p\right) M_{lf}^1 + c_{lf}\left(2M_0 + M_{lf}^2\right) \\ \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \\ M_n \dfrac{\partial n_{lf}^h}{\partial \tau} = \left(\delta n_i h^2 q_{lf}^2 + \mathrm{h}\delta n_p\right) M_{lf}^h + c_{lf}\left(M_{lf}^{h-1} + M_{lf}^{h+1}\right) \end{cases}, \qquad (2)$$

где $q_{mk}=б[f(\mathbf{r},бτ)]^{0,5}K_{mk}/K_{12}$ – нормировка волновых чисел наложенных решеток по первой; $b_s = b_s(\mathbf{r},\tau) = T_{ps}(\mathbf{r},\tau)/T_m(\tau) = b^0{}_s I_0(0)^k/I_0(z)^k$ – безразмерный параметр, характеризующий условия записи; $e = e(\mathbf{r},\tau) = 2^k/b_s(\mathbf{r},\tau)$, $c_{ij} = c_{ij}(\mathbf{r},\tau) = 2^k{\cdot}k{\cdot}m_{ij}(\mathbf{r},\tau)/2b_s(\mathbf{r},\tau)$, $\tau = t/T^0{}_m$ – относительное время, где $T_m(\tau) = 1/K_{12}{}^2 D(\tau)$ – время диффузии, M_{lf} – амплитуды гармоник мономера, $T_{ps}(\mathbf{r},\tau) = \mathrm{h}^{-1}/I_0(\mathbf{r},\tau)^k$ – локальное время полимеризации, $b^0{}_s = T^0{}_{ps}/T^0{}_m$, $T^0{}_{ps} = \mathrm{h}^{-1}/I_0(0)^k$; $T^0{}_m = T_m(\tau = 0)$, $f(\mathbf{r},\tau) = \exp[-s_0(1 - M_0(\mathbf{r},\tau)/M_n)]$.

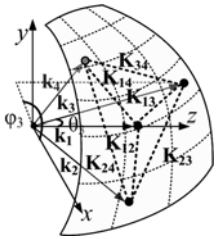


Рис. 1

Применим матричную запись для системы уравнений (2):

$$\frac{\partial \mathbf{N}(\tau,\mathbf{r})}{\partial \tau} = \delta n_p \mathbf{B}(\tau,\mathbf{r})\mathbf{M}(\tau,\mathbf{r}) + \delta n_i \mathbf{C}(\tau,\mathbf{r})\mathbf{M}(\tau,\mathbf{r}), \quad (3)$$

где $\mathbf{M}$ – вектор-столбец гармоник концентрации мономера размерности $Q = G{\cdot}H$, $\mathbf{N}$ – вектор-столбец гармоник показателя преломления размерности Q, $\mathbf{B}(\tau,\mathbf{r})$, $\mathbf{C}(\tau)$, $\mathbf{A}(\tau,\mathbf{r}) = \mathbf{B}(\tau,\mathbf{r}) - \mathbf{C}(\tau)$ – матрицы, зависимость которых от $\mathbf{r}$ вызвана наличием поглощения в объеме композитного материал, от τ – влиянием фотоиндуцированных эффектов.

Так как система уравнений (3) в общем случае не имеет аналитического решения, аппроксимируем зависимости фотоиндуцированного изменения поглощения $\alpha(\tau)$ и коэффициента диффузии $D(\tau)$ ступенчатыми функциями (рис. 2), применяя разбиение всего интервала расчета на S временных интервалов, где в каждом:

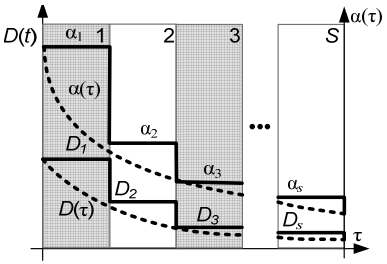


Рис. 2.

$$D_s = D_m e^{-s_0\left(1 - M_0(s\Delta\tau)/M_n\right)}, \quad \alpha_s = \alpha_2 + \alpha_1 e^{-s\Delta\tau z I_\Sigma T_m/T_\alpha}. \qquad (4)$$

Начальными условиями для решения системы (2) на интервале s+1 будут являться полученные значения $\mathbf{M}_s = \mathbf{M}(\Delta\tau\cdot s)$ и $\mathbf{N}_s = \mathbf{N}(\Delta\tau\cdot s)$.

В результате полученные с использованием матричного метода и разложения Лагранжа–Сильвестра решения уравнений (3) на каждом временном интервале представим в виде рекуррентных соотношений:

$$\mathbf{M}_{s+1}(\tau,\mathbf{r}) = \sum_{l=0}^{Q} \exp\left[\lambda_l^s(\mathbf{r})\cdot\tau\right] a_l^s(\mathbf{r})\mathbf{M}_s ,$$

$$\mathbf{N}_{s+1}(\tau,\mathbf{r}) = \left[\delta n_p \mathbf{B}_s(\mathbf{r}) + \delta n_i \mathbf{C}_s(\mathbf{r})\right] \int_0^{\tau} \sum_{l=0}^{Q} \exp\left[\lambda_l^s(\mathbf{r})\cdot\tau'\right] a_l^s(\mathbf{r})\mathbf{M}_s d\tau' , \qquad (5)$$

где $a^s{}_l(\mathbf{r})$ являются компонентами матрицы $\mathbf{A}^s(\mathbf{r})$.

Раскрывая решения (5) покомпонентно, получим результирующие выражения для амплитудных профилей составляющих гармоник $n^h{}_{ij}$ за счет фотополимеризационного ($n^{ph}{}_{ij}$) и диффузионного ($n^{ih}{}_{ij}$) механизмов записи гармоник, входящих в (1):

$$n_{ij}^{s.hp}(\tau,\mathbf{r}) = -\delta n_p 2\sum_{l=0}^{Q} b_{v,l}^s(\mathbf{r}) \sum_{p=0}^{Q} f_{l,p}^s(\mathbf{r}) \frac{1-\exp\left[\lambda_p^s(\mathbf{r})\cdot\tau\right]}{\lambda_p^s(\mathbf{r})} ,$$

$$n_{ij}^{s.hi}(\tau,\mathbf{r}) = -\delta n_i 2c_{v,v}^s \frac{D_i}{D_m} \sum_{p=0}^{Q} f_{l,p}^s(\mathbf{r}) \frac{1-\exp\left[\lambda_p^s(\mathbf{r})\cdot\tau\right]}{\lambda_p^s(\mathbf{r})} , \qquad (6)$$

где $v = v(i, j, h) = (h - 1)G + (2\cdot N\cdot i - i^2 - i)/2 + (j - i)$, $\lambda^s{}_p$ – собственные числа матрицы $\mathbf{A}^s$, взятой для s-го временного интервала, коэффициенты $f^s{}_{j,p}$ находятся из той же матрицы, с учетом начальных условий, как решения (Q + 1) систем линейных алгебраических уравнений.

Таким образом, выражения (1), (6) являются математической основой для исследования процесса формирования сложных фотонных структур в поглощающих фотополимерных композитах. Работа выполнена по проекту № РНП.2.1.1.2097 и гранту №325б МФП ВНТС.

Литература

1. *Mao W., Liang E.* e.a. Design and fabrication of two-dimensional holographic photonic quasi crystals with high-order symmetries // JOSA B. 2006. Vol. 23. No. 10. P. 2047–2050.

2. *Gorkhali S.P., Qi J., Crawford G.P.* Switchable quasi-crystal structures with five-, seven-, and ninefold symmetries// JOSA B. 2006. Vol. 23. P. 149–158.

3. *Миргород В.Г., Довольнов Е.А., Шарангович С.Н.* Нелинейная модель многопучковой записи голографических фотонных структур в поглощающих фотополимерных композитах // Доклады ТУСУР. 2007. № 2 (16). 12 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ С КУБИЧЕСКОЙ СИММЕТРИЕЙ В ПОГЛОЩАЮЩИХ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ

В.Г. Миргород, студент 5-го курса;
И.С. Тонышева, Л.А. Кузьмина, Е.Б. Пучинина – студенты 3-го курса;
С.Н. Шарангович, к.ф.-м.н., зав. каф. СВЧиКР
ТУСУР, г. Томск, rafinad@ms.tusur.ru

В настоящее время большое внимание привлекают фотонные структуры, сформированные в фотополимерных композитных материалах (ФПКМ), в общем случае состоящие из полимеризующейся композиции и инертной компоненты, в роли которой могут выступать наночастицы, например окиси железа, титана, либо жидкие кристаллы. Такие структуры имеют широкое применение в оптических телекоммуникациях, системах голографической записи информации, дифракционной оптике.

В данное работе приведены основные результаты моделирования, с использованием модели, описанной в [1], процессов голографического формирования сложных периодических структур в поглощающих ФПКМ в процессе одновременной записи несколькими световыми пучками, исследования влияния внешних и внутренних условий записи.

Для моделирования процессов записи разработано программное обеспечение в среде Borland Delphi, зарегистрированное в отраслевом центре регистрации программ и алгоритмов [2].

При моделировании используется следующая распространенная геометрия для четырехпучковой записи (рис. 1), углы падения пучков при этом составляют: $\theta_1 = 0$, $\theta_{2-4} = 38{,}9^o$, $\varphi_i = 0, 0, 120, 240$. При этом реализуется гранецентрированная кубическая симметрия сформированного фотонного кристалла (f.c.c.) [3]. На рис. 2 представлены кинетики амплитудных профилей первых гармоник пространственных решеток.

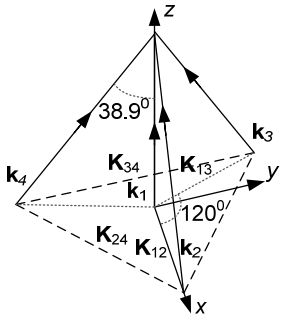


Рис. 1. Геометрия записи

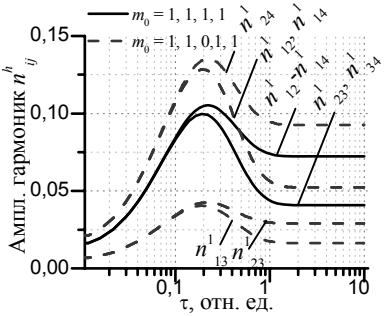


Рис. 2

При этом используются следующие параметры расчета: $b_s = T_{ps}/T_m =$ $= 0{,}4$ – параметр, характеризующий соотношение времени полимеризации ко времени диффузии, $C_n = \delta n_i/\delta n_p = 0{,}1$ – параметр, характеризующий отношение вкладов инертной и полимерной компоненты, $\alpha d = 1{,}5$ Неп – поглощение образца, $k = 0{,}4$ – коэффициент нелинейности.

Видно, что при изменении соотношения интенсивностей m_{03} с 1,0 до 0,1 за счет эффектов взаимовлияния формируемых структур, кроме изменения амплитуд гармоник, связанных с 3 пучком, изменяются амплитуды остальных гармоник. На рис. 3 представлены двумерные профили гармоник $n^1{}_{12}$, $n^1{}_{23}$ в зависимости от времени записи и глубины образца.

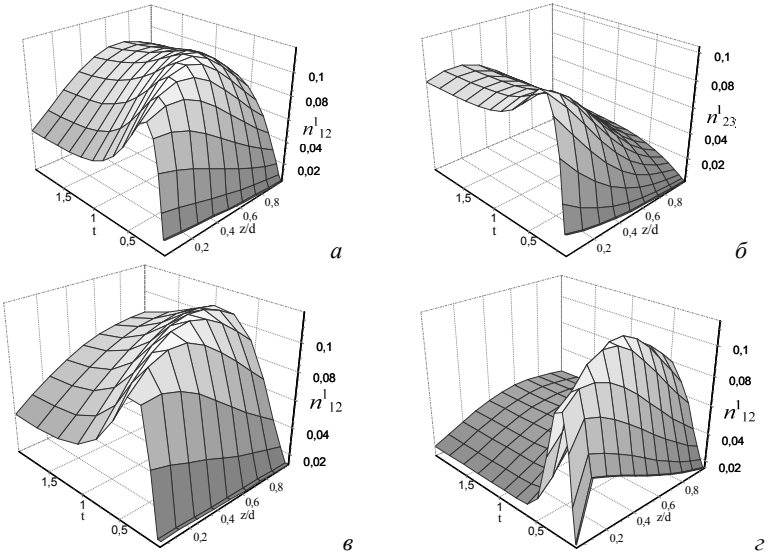


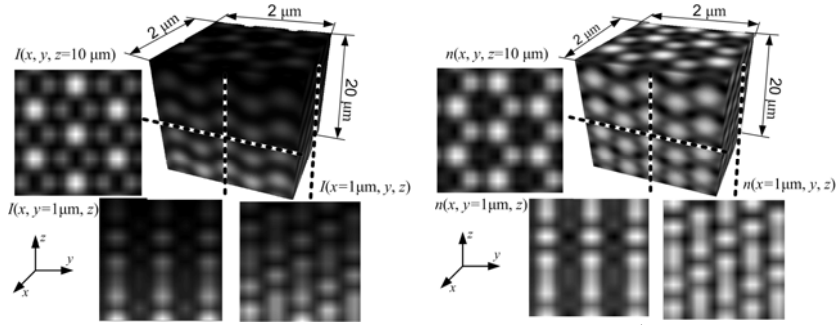
Рис. 3. Пространственные профили гармоник

Из рис. 3 видно различное поведение профилей амплитуд гармоник, как по времени, так и по глубине решетки. Такое поведение связано с нелинейностью процесса записи и эффектами взаимовлияния формируемых структур.

На рис. 3, *в* и *г* приведены двумерный профиль амплитуды первой гармоники $n^1{}_{12}$ в случае учета фотоиндуцированного изменения поглощения (рис. 3, *в*) и коэффициента диффузии (рис. 3, *г*). Видно, что по сравнению с рис. 3, *а* фотоиндуцированное уменьшение коэффициента поглощения приводит к уменьшению вследствие нелинейности процессов, амплитуд гармоник (вместо ожидаемого увеличения). Фотоиндуци-

рованное изменение коэффициента диффузии (рис. 3, *г*) также приводит к уменьшению амплитуд гармоник на стационарном режиме и времени выхода на этот режим.

На рис. 4 приведены результирующие распределения $I(\mathbf{r})$ (рис. 4, *а*) и $n(\mathbf{r})$ в стационарном режиме (рис. 4, *б*) при описанной конфигурации записи. Описанные процессы приводят к тому, что результирующее распределение показателя преломления значительно отличается от ожидаемого.



а *б*

Рис. 4. Результирующая записанная картина

Проведенный анализ результатов моделирования показывает возможность эффективного оптического управления на стадии записи пространственным распределением и структурой фотонных зон квазипериодических фотонных кристаллов в ФПМ и композиционных материалах на их основе. Работа выполнена по проекту № РНП.2.1.1.2097 и гранту №325б МФП ВНТС.

Литература

1. *Миргород В.Г., Шарангович С.Н.* Аналитическая модель формирования фотонных структур в фотополимерных композитах с учетом фотоиндуцированных эффектов // «Научная сессия ТУСУР–2008». Материалы докл. Всероссийской науч-технич. конф. Томск: В-Спектр, 2008. 3 с.

2. *Шарангович С.Н., Миргород В.Г.* Программа расчета и оптимизации голографических фотонных структур в фотополимерных композитах. М.: ВНТИЦ, 2008. № 50200800100. (Свидетельство № 9718 о регистрации в «Отраслевом фонде алгоритмов и программ» от 18.01.2008. г. Москва).

3. *Wei-Dong Mao, Guan-Quan Liang, Yi-Ying Pu, and He-Zhou Wang,* Zhaohua Zeng Complicated three-dimensional photonic crystals fabricated by holographic lithography // Appl. Phys. Lett. 2007. Vol. 91. 3 p.

ДИФРАКЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НЕОДНОРОДНОЙ ФПМ-ЖК ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ С УЧЕТОМ СТАТИСТИКИ ЖК МОЛЕКУЛ

А.С. Лыков, Е.С. Черкашин, студенты;
Б.Ф. Ноздреватых, С.В. Устюжанин – аспиранты;
С. Н. Шарангович, к.ф.-м.н., зав. каф. СВЧиКР
ТУСУР, г. Томск, shr@svch.rk.tusur.ru

При голографическом формировании дифракционных решеток (ДР) в ФПМ-ЖК было экспериментально установлено образование капсул ЖК. В работе [1] представлена модель, описывающая дифракционные свойства однородных ДР, образованных в таких материалах, с учетом статистики распределения ориентации молекул ЖК в капсуле, но без учета влияния ориентационных эффектов поверхностей образца. В работе [2] представлена математическая модель с учетом краевых эффектов для δ-статистики распределения ориентации молекул ЖК.

Целью данной работы является развитие математической модели ФПМ-ЖК ДР [2] (рис. 1) с учетом неоднородной статистики распределения молекул ЖК в капсулах и влияния краевых эффектов образца.

При голографическом формировании ДР (рис. 1) в ФПМ-ЖК материале за счет фотополимеризационного, диффузионного и инкапсуляционного механизмов формируется пространственно-неоднородное распределение тензора диэлектрической проницаемости:

$$\left\langle \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{r},\mathbf{E}) \right\rangle = \left\langle \boldsymbol{\varepsilon}_0(\mathbf{r},\mathbf{E}) \right\rangle + \left\langle \Delta\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{r},\mathbf{E}) \right\rangle \cos(\mathbf{K}\cdot\mathbf{r}), \qquad (1)$$

где $\left\langle \Delta\varepsilon(\mathbf{r},\mathbf{E}) \right\rangle = \left\langle \Delta\varepsilon_{lc}(\mathbf{r},\mathbf{E}) \right\rangle + (1-\rho)\Delta\varepsilon_p(\mathbf{r})$; ρ – объемная доля ЖК, $\Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{p}}(\mathbf{r}) = n_{1p}(\mathbf{r})\delta\varepsilon_p\mathbf{I}$; $\delta\varepsilon_p$, $n_{1p}(\mathbf{r})$ – амплитуда изменения диэлектрической проницаемости и нормированный профиль первой гармоники фотополимерной ДР, $\mathbf{I}$ – единичный тензор, $\langle ... \rangle$ означает статистическое усреднение.

Статистически усредненное возмущение ЖК составляющей тензора диэлектрической проницаемости в (1) имеет вид:

$$\left\langle \Delta\varepsilon_{lc}(\mathbf{r},\mathbf{E}) \right\rangle = n_{1lc}(\mathbf{r})\left[\varepsilon_\perp \mathbf{I} + \left(\varepsilon_\parallel - \varepsilon_\perp\right) \int_0^{\pi}\int_{-1}^{1} \mathbf{N}(\mathbf{r},\mathbf{E})\mathbf{N}(\mathbf{r},\mathbf{E})\, p(\alpha) q(\varphi)\, d\alpha\, d\varphi \right], \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{N}(\mathbf{r}, \mathbf{E})$ – единичный вектор, указывающий направление ориентации директора ЖК молекул (рис. 3); $n_{1lc}(\mathbf{r})$ – нормированный профиль первой гармоники ЖК решетки; $\varepsilon_\parallel, \varepsilon_\perp$ – компоненты тензора при продольной и поперечной ориентации директора.

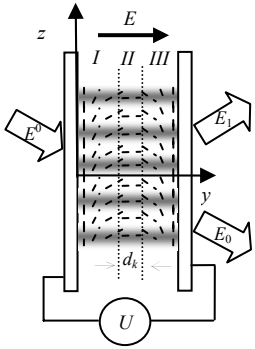


Рис. 1. Схема дифракции на ФПМ-ЖК ДР

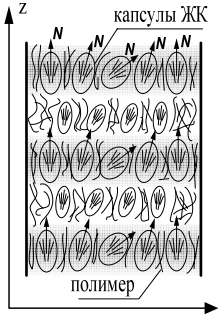


Рис. 2. Ориентация ЖК капсул в ДР

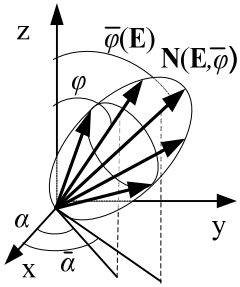


Рис. 3. Ориентация директора в капсуле

Статистику распределения директора ЖК $\mathbf{N}(\mathbf{r},\mathbf{E})$ в (2) с учетом большого количества молекул можно принять гауссовой [1]:

$$p(\alpha,\mathbf{E}) = A\exp\left[-\left(\alpha-\overline{\alpha}\right)^2/2\sigma_\alpha^2\right],\ q(\varphi,\mathbf{E}) = B\exp\left[-\left(\varphi-\overline{\varphi}\right)^2/2\sigma_\varphi^2\right], \quad (3)$$

где $p(\alpha)$ и $q(\varphi)$ – функции распределения директора в капсуле для углов α и φ соответственно (рис. 3), $\overline{\alpha}(\mathbf{E},y)$, $\overline{\varphi}(\mathbf{E},y)$ – средние значения, характеризующие влияние поля **E** с учетом краевых ориентационных эффектов и определяемые из модифицированного уравнения Фредерикса; $\sigma_\alpha, \sigma_\varphi$ – среднеквадратические отклонения.

При дифракции плоской волны с амплитудой E^0 на ДР (1) в геометрии рис. 1, в виду анизотропных свойств ФПМ-ЖК, взаимодействие световых волн описывается уравнениями связанных волн (УСВ) [2]:

$$\begin{aligned} \frac{E_0^m(y)}{\partial y} &= -i\cdot\left\langle C_1^{\mathrm{m}}(y)\right\rangle E_1^m(y)\exp\left[+i\int\left\langle \Delta K^{\mathrm{m}}(y,E)\right\rangle dy\right]. \\ \frac{E_1^m(y)}{\partial y} &= -i\cdot\left\langle C_0^{\mathrm{m}}(y)\right\rangle E_0^m(y)\exp\left[-i\int\left\langle \Delta K^{\mathrm{m}}(y,E)\right\rangle dydy\right]. \end{aligned} \quad (4)$$

где $\left\langle C_{0,1}^m(\mathbf{y},E)\right\rangle = \omega\left(\mathbf{e}_{0,1}^m(y)\cdot\left\langle\Delta\varepsilon(\mathbf{y},E)\right\rangle\cdot\mathbf{e}_{1,0}^m(\mathbf{y})\right)\Big/4cn_{1,0}\cos\varphi_{1,0}\cos\beta_{1,0}$ – коэффициенты связи; $\Delta K^m(y,E)$ – локальные фазовые расстройки; c – скорость света в вакууме, $\mathbf{e}_j^m(y)$ – поляризации света, $m = o, e$ – обыкновенная и необыкновенная волна соответственно.

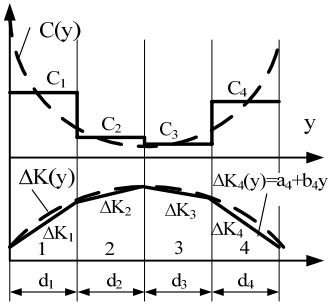


Рис. 4

Для решения (4) разобьем образец на K слоев толщиной d_k (рис. 4), в каждом из которых применим ступенчатую аппроксимацию для $C^m(y)=\sum_{k=1}^{K} C_k$ и кусочно-линейную для фазовой расстройки

$$\Delta K(y)=\sum_{i=1}^{K} a_k + b_k y .$$

В этом случае, решение (4) в k-м слое можно представить через вырожденные гипергеометрические функции $\Phi(a,b,c)$ [2],

$$E_{1,0}^{mk} = C_1^k \Phi(a,b,c) + C_3^k \Phi(a,d,c) , \qquad (5)$$

где $C_1^{\,k}$, $C_3^{\,k}$ – постоянные интегрирования, определяемые из краевых условий и включающие значения $E_1^{m\,i-1}$, $E_0^{m\,i-1}$ в k–1-м слое.

Используя матричную запись и (5), общее световое поле на выходе k-го слоя запишем в виде рекуррентного соотношения:

$$\mathbf{E}^{\mathrm{m}k} = \mathbf{T}^{mk} \otimes \mathbf{E}^{mk-1} , \quad \begin{bmatrix} E_0^{mk} \\ E_1^{mk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{00}^{mk} & T_{10}^{mk} \\ T_{01}^{mk} & T_{11}^{mk} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} E_0^{mk-1} \\ E_1^{mk-1} \end{bmatrix}, \qquad (6)$$

где $\mathbf{T}$ – матричная передаточная функция, элементы T_{ij}^{mk} которой находятся из (5). На выходе ФПМ-ЖК ДР световое поле запишется $\mathbf{E}^{\mathrm{m}} = \mathbf{T}^{mK} \otimes ... \mathbf{T}^{mk} \otimes .... \mathbf{T}^{m1} \otimes \mathbf{E}^{m0}$.

Таким образом, представленная модель является математической основой для исследования дифракционных свойств (энергетических, селективных, поляризационных) неоднородных ФПМ-ЖК ДР с учетом статистики распределения ЖК молекул и ориентационных эффектов. Работа выполнена по проекту № РНП.2.1.1.2097.

Литература

1. *Richard L. Sutherland*. Polarization and switching properties of holographic polymer-dispersed liquid-crystal grating. I. Theoretical model // JOSA B. 2002. Vol. 19. № 12. P. 2995–3003.

2. *Ноздреватых Б.Ф., Устюжанин С.В., Шарангович С.Н.* Векторная модель дифракции света на электрически-управляемых неоднородных дифракционных структурах в фотополимеризующихся жидкокристаллических композиционных материалах // Доклады ТУСУР. 2007. № 2 (16). 12 с.

НАВЕДЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В ЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ ТИТАНАТА ВИСМУТА

В.Н. Терещенко, С.С. Шмаков, студенты 4-го курса;
А.Е. Мандель, профессор, доктор физико-математических наук
ТУСУР, г. Томск, necehzyby@mail.ru

Фоторефрактивные кристаллы титаната висмута $Bi_{12}TiO_{20}$ (BTO), благодаря их чувствительности к излучению из видимой и ближней инфракрасной областей спектра, представляют интерес для реализации на их основе устройств динамической голографии [1, 2]. Облучение кристаллов BTO светом из видимой области спектра приводит к обратимому изменению оптического поглощения [3, 4], причиной которого считается перезарядка дефектных центров с различными сечениями фотоионизации [3, 5]. Значительное влияние на фоторефрактивные параметры и оптическое поглощение кристаллов титаната висмута оказывает легирование примесями [3], которое может приводить к изменению параметров структурных дефектов, характерных для нелегированных образцов [3].

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований скорости фотоиндуцированного изменения поглощения, наблюдаемого на начальном линейном участке после включения засветки при различных значениях ее интенсивности, в легированных кристаллах титаната висмута.

Исследуемые образцы были легированы как отдельными элементами, так и комбинациями элементов: Cu (0,04 вес. %, d = 0,55 мм); Fe+Cu (0,04 вес.% Fe и 0,004 вес.% Cu, d = 1,14 мм); Cu+Co (0,0022 вес.% Cu и 0,0015 вес.% Co, d = 0,53 мм); Co+Cu (0,001 вес.% Co и 0,001 вес.% Cu, d = 0,65 мм), где d – размер кристалла вдоль кристаллографической оси [100]. В качестве источника излучения использовался светодиод с длиной волны 505 нм. Для регистрации интенсивности прошедшего через кристалл излучения использовался фотодатчик на основе фотодиода ФД-24К и усилителя постоянного тока, сигнал с которого поступал на запоминающий цифровой осциллограф. Данный фотодатчик обеспечивал интервалы между отсчетами в 20 мс, значительно меньшие, чем для системы, используемой в работе [5]. Измерения проводились при интенсивностях падающего излучения от 2 до 14 мВт/см^2 в течение первых 40 с облучения кристалла.

Результаты анализа данных по наблюдаемой на начальном участке скорости роста фотоиндуцированных изменений в поглощении, полученных экспериментально для различных значений интенсивности засветки, представлены на рисунке. Из него следует, что для всех исследо-

ванных образцов зависимости скорости роста наведенных изменений оптического поглощения от интенсивности засветки можно считать линейными.

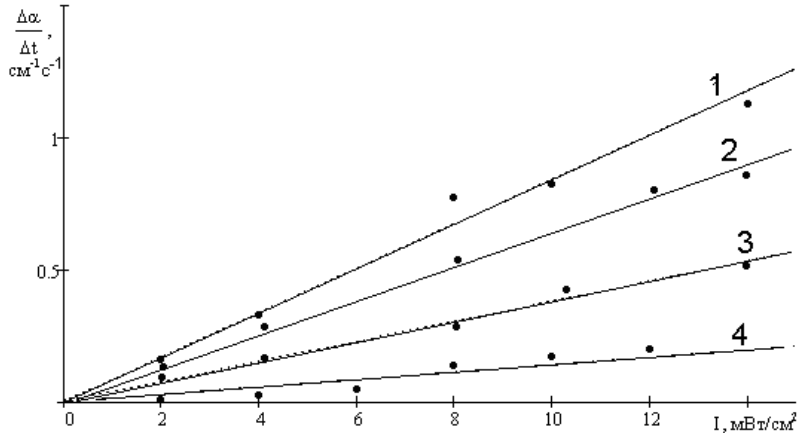


Рис. 1. Зависимости скорости наведенных изменений в поглощении на начальном линейном участке от интенсивности излучения засветки (1 – BTO: Cu + Co; 2 – BTO: Co + Cu; 3 – BTO: Cu; 4 – BTO: Cu + Fe)

Наибольшая скорость наведенных изменений наблюдается для кристалла, легированного комбинацией меди и кобальта, наименьшая – для кристалла, легированного комбинацией меди и железа.

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 гг.)».

Литература

1. *Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В.* Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992. 320 с.

2. *Solymar L.,Webb D.J., Grunnet-Jepsen A.* The physics and application of photorefractive materials. Oxford, Clarendon Press, 1996. 493 p.

3. *Каргин Ю.Ф., Бурков В.И., Марьин А.А., Егорышева А.В.* Кристаллы $Bi_{12}M_xO_{20-\delta}$ со структурой силленита. Синтез, строение, свойства. М.: ИОНХ РАН, 2004. 312 с.

4. *Малиновский В.К., Гудаев О.А., Гусев В.А., Деменко С.И.* Фотоиндуцированные явления в силленитах. Новосибирск: Наука, 1990. С. 160.

ФОРМИРОВАНИЕ ТЁМНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СОЛИТОНОВ В ПЛАНАРНОМ ВОЛНОВОДЕ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ, ПОЛУЧЕННОМ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ПРОТОНОВ

[1]В.Г. Круглов, аспирант; [1]В.М.Шандаров, д.ф.-м.н., проф.; [2]Ф.Чен, проф.; [2]Я.Тан

[1]ТУСУР, г. Томск, т. 8-903-915-00-24, kvg333@yandex.ru

[2]Шандонгский университет, Джинан, Китай

В течение почти двадцати лет в оптике проявляется повышенный интерес к исследованию эффектов пространственных оптических солитонов в фоторефрактивных кристаллах. Под пространственными солитонами понимаются световые пучки, демонстрирующие бездифракционное поведение при проявлении оптической нелинейности материала [1]. В дефокусирующей среде могут существовать темные солитоны, для которых в нелинейном режиме неосвещенная область в световом поле как бы не испытывает дифракции [2]. Целью данной работы явилось исследование и демонстрация возможности формирования темных пространственных солитонов в планарном волноводе, полученном путем имплантации протонов (H^+) в пластинах ниобата лития ($LiNbO_3$) X-среза.

В работе исследовался образец $LiNbO_3$:Cu (0,1 вес. %) с протонно-имплантированным волноводом, полученным при энергии пучка 500 кэВ и дозе имплантированных протонов 10^{17} см $^{-2}$. При торможении ионов в материале происходит аморфизация кристалла в слое достаточно малой толщины на некотором расстоянии от поверхности, где они практически полностью теряют свою энергию. Показатель преломления в области этого слоя уменьшается на величину $\Delta n \approx 2\cdot10^{-3}$, но у поверхности кристалла его величина остается неизменной. Такой барьерный слой с пониженным показателем преломления обеспечивает волноводный эффект в имплантированной области [1].

Схема экспериментов представлена на рис. 1. Излучение He-Ne лазера (2) с длиной волны λ = 633 нм проходит через коллиматор (3) и с помощью линзы (7) вводится в волновод (8) через его торец. Линза (10) с фокусным расстоянием f = 16 мм проецирует изображение выходной грани образца на матрицу CCD камеры (11). С помощью тонкой стеклянной пластинки (4), введенной в световой пучок, достигается фазовый сдвиг $(2\cdot m+1)\cdot\pi$ светового поля, необходимый для формирования темного солитона. Таким образом, на входной грани образца световое поле имеет тёмный провал в центре. Микрометрический позволяет позиционировать образец для эффективного возбуждения света в волноводе. Призма (5) и светоделительный кубик (6) предназначены для ввода счи-

тывающего светового пучка (излучение твёрдотельного $YAG:Nd^{3+}$ лазера с λ = 532 нм) в волноводный канал, формируемый темным пространственным солитоном.

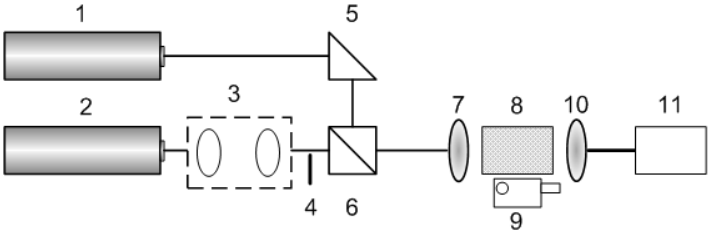
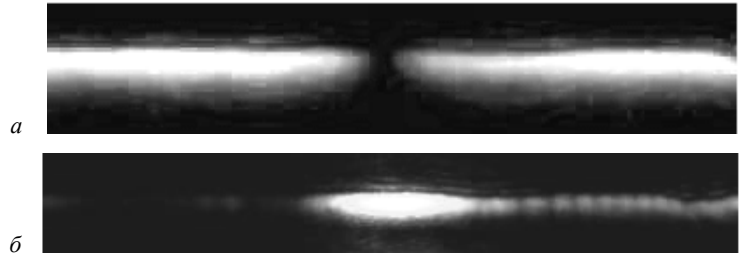


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – твердотельный $YAG:Nd^{3+}$ лазер; 2 – He-Ne лазер; 3 – коллиматор; 4 – стеклянная пластинка; 5 – призма; 6 – светоделительный кубик; 7 – микролинза; 8 – образец $LiNbO_3$ (H^+); 9 – микрометрический столик; 10 – микролинза; 11 – CCD камера

Изображения на рис. 2 иллюстрируют некоторые результаты экспериментов. Формирующий пучок (λ = 633 нм) шириной 2 мм фокусировался с помощью линзы (7) с фокусным расстоянием f = 18,14 мм в волноводный слой, толщина которого составляла h = 3,5 мкм. Мощность формирующего пучка составляла P_f = 150 мкВт. В начальный момент на выходной грани образца наблюдался широкий тёмный провал относительно. При экспозиции формирующим пучком в течение 18 мин ширина этого провала уменьшилась до некоторого стационарного значения (рис. 2, *а*). Объяснить наблюдаемый эффект можно следующим образом: так как кристалл $LiNbO_3$ является дефокусирующей средой, то в освещённой области показатель преломления уменьшается, в то время как в неосвещённой области он не меняется. Соответственно, в области тёмного провала показатель преломления оказывается выше, т.е. образуется волновод. Вследствие продолжительной засветки этот провал сужается образуя тёмный пространственный солитон. Считывающий пучок излучения твердотельного $YAG:Nd^{3+}$ лазера с λ = 532 нм, мощность которого составляла P_R = 27 мкВт, вводился в темную область сформированного тёмного пространственного солитона. Рис. 2, *б* демонстрирует локализацию мощности считывающего пучка в сформированном волноводе на выходной грани образца. Через некоторое время (t = 15 мин.) вследствие длительной засветки сформированный тёмным пространственным солитоном волновод стирается. Также дополнительные эксперименты продемонстрировали, что в исследуемом образце $LiNbO_3$ с планарным волноводом, полученным имплантацией протонов (H^+) при увеличении

мощности формирующего пучка (до ~1 мВт) наблюдались эффекты модуляционной нестабильности, вследствие которых разрушался сформированный солитон.



а

б

Рис. 2. Изображение на выходной грани образца формирующего пучка (*а*) и локализованного пучка (*б*)

Таким образом, проведенные эксперименты продемонстрировали возможность формирования темных пространственных солитонов в волноводном слое, образованном ионной имплантацией протонов (H^+) в кристалле $LiNbO_3$.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 06-02-39017 и 06-02-81040-Бел_а) и Министерства образования и науки РФ (грант 2.1.1.2097).

Литература

1. *Шандаров В.М., Кип Д., Кретциг Е.* Пространственные оптические солитоны в планарных волноводах на основе электрооптических кристаллов // Изв. вузов. Физика. № 10 (2001). С. 43–52.

2. *Valley G.C., Segev M., Crosignani B., Yariv A., Fejer M.M., Bashaw M.C.* // Phys. Rev. A 50, R4457 (1994).

СЕКЦИЯ 7

ФИЗИЧЕСКАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – **П.Е. Троян,** зав. каф. ФЭ, к.т.н., доцент,*
*зам. председателя – **О.Г. Лисянский***

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА ДИЭЛЕКТРИКОВ

А.В. Барков, студент 5-го курса, А.С. Климов, аспирант каф. физики
ТУСУР, г. Томск, lock8686@mail.ru

В настоящее время для соединения изделий из трудносвариваемых металлов, диэлектриков, а также для соединения металлов с диэлектриками используется диффузионная сварка, которая осуществляется путем нагрева (без расплавления материалов) и сдавливания соединяемых деталей в вакууме, в результате чего происходит диффузия атомов материалов контактирующих деталей [1]. Для соединения керамических деталей используют способ электронно-лучевой сварки, разработанный в МЭИ. Особенностью этого способа является наличие в сварочной цепи диэлектрика, вследствие чего на поверхности керамики накапливается электрический заряд и наблюдается расфокусировка луча. Для сварки необходим подогрев керамики до температуры, при которой керамика становится электропроводной [2]. Альтернативным способом снятия накопившегося заряда является облучение диэлектрика в форвакуумной области давлений.

Цель данной работы состояла в исследовании изменения потенциала изолированной мишени при облучении ее электронным пучком в форвакуумной области давлений. В задачу работы входила также демонстрация возможности электронно-лучевой обработки диэлектрических мишеней.

Схема эксперимента представлена на рис. 1. Электронный пучок 1, генерируется плазменным электронным источником 2 на основе разряда с полым катодом. Магнитное поле, создаваемое катушками 3, предотвращает расширение пучка, а также удерживает плазму 4, образованную за счет ионизации газа распространяющимся пучком. Для откачки вакуумной камеры 5 использовался механический форвакуумный насос. Изменение давления газов в интервале 3–10 Па обеспечивалось напуском воздуха непосредственно в камеру.

Электронный пучок улавливался коллектором 6. Измерение потенциала изолированного коллектора 7 производилось с помощью высокоомного вольтметра. Поперечные размеры электронного пучка на выходе из источника составляли 100×10 мм^2. Энергия пучка равнялась 3 кэВ. Ток разряда I_d электронного источника варьировался в пределах от 200 до 800 мА. Ток пучка составлял 70÷80 % от тока разряда.

Измерения показали, что потенциал U_f изолированной мишени, помещенной на пути распространения электронного пучка, отрицателен по отношению к заземленным стенкам камеры и заметно возрастает с увеличением давления (рис. 2).

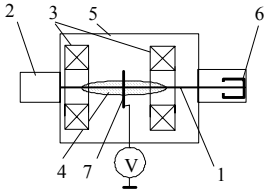


Рис. 1. Схема эксперимента

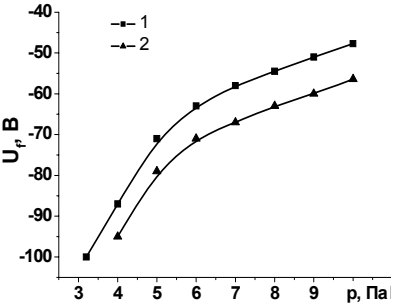


Рис. 2. Зависимость потенциала изолированной мишени U_f от давления p для токов разряда I_d: 1 – 400 мА, 2 – 600 мА

Полученные значения потенциала изолированной мишени оказались по абсолютной величине значительно меньше ускоряющего напряжения, которое во всех экспериментах составляло 3 кВ. Визуальные наблюдения не обнаружили какого-либо отклонения траектории электронного пучка. Этот факт позволил использовать электронный пучок для термического воздействия на диэлектрические мишени, в качестве материала которых были взяты стекло, кварц и керамика. При экспозиции в несколько минут исследуемые материалы плавились в зоне действия пучка (рис. 3, 4).

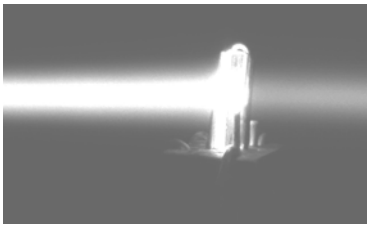


Рис. 3. Воздействие электронного пучка на диэлектрик

Рис. 4. Керамические трубки после электронно-лучевой обработки

Облучение пучком стыка двух деталей из одинаковых диэлектриков привело к образованию сварного шва. Этим способом была произведена сварка образцов кварца и керамики.

Таким образом использование плазменного источника электронного пучка в форвакуумном режиме позволило избежать накопления заряда на изолированной мишени, помещенной на пути распространения пучка, и снижения ее потенциала. Это дало возможность производить электронно-лучевую обработку диэлектрических образцов.

Литература

1. *Люшинский А.В.* Диффузионная сварка разнородных материалов. Изд. Академия/Academia, 2006, С. 205.

2. *Ольшанский Н.А., Зайцев К.И.* Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. Т. 2. / Под ред. А.И. Акулова. М.: Машиносторение, 1978. 462 с., ил.

ТРЕКОВАЯ МЕМБРАНА КАК ТЕМПЛЕЙТНЫЙ ШАБЛОН ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАНООСТРИЙНЫХ КРЕМНИЕВЫХ КАТОДОВ

В.С. Бузырев, В.В. Сохорева

г. Томск, ТУСУР, Crion@kvadro.net

Металлические микро- и наноострийные гетерогенные структуры, созданные на массивной основе, могут стать перспективным материалом конструкционного и функционального назначения для ряда приложений. Такие структуры могут быть получены с использованием в качестве шаблона трековых мембран (ТМ), обладающих однородными цилиндрическими или коническими статически распределенными порами в полимерной пленке.

Такие системы, выращенные через шаблоны, из ТМ могут получаться виде наноконусов, наностолбиков, которые предполагается использовать для создания эмиттеров электронов с эффективным увеличением площади при сохранении общих малых размеров приборов, например, для плоских (небольшой толщины) полевых эмиссионных дисплеев, для плоских катодолюминесцентных источников света и др. [1].

Также эта система наноострий представляет собой высокоразвитую поверхность на небольшой площади, которую в дальнейшем можно использовать как фильтр, например, для углеводорода.

В настоящей работе приводятся результаты исследований возможности выращивания через темплейтный шаблон на массивной подложке из никеля и кремния, конических структур из никеля диаметром 150–200 нм и высотой от 1 до 10 мкм.

В качестве шаблона использовалась ТМ с диметром пор от 50–200 нм и пористостью $2 \cdot 10^8 см^{-2}$. На рис. 1 представлена микрофотография фрагмента поверхности ТМ с порами диаметром 200 нм из нитрата целлюлозы.

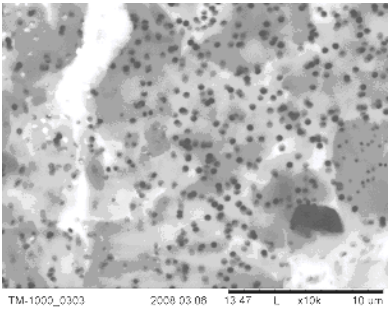


Рис. 1. Микрофотография фрагмента поверхности ТМ с порами диаметром 200 нм из нитрата целлюлозы

Микрофотография получена с помощью растрового электронного микроскопа МОТР – 1000.

Черные точки это сквозные цилиндрические поры, следует отметить, что ТМ характеризуется как мембрана с калиброванными порами. т.е. все поры имеют одинаковый диаметр и протяженность. На фотографии видно, что мембрана сама имеет неровную поверхность, это по-видимому обусловлено воздействием электронного пучка микроскопа.

Из кремневой пластины диаметром 70 мм выкалывались образцы в виде квадратов площадью 400 $мм^2$. Первые попытки вырастить конические структуры на полированном кремнии не увенчались успехом, и поэтому образцы затем шлифовались порошком Al_2O_3 с диметром 5 мкм, после шлифовки Si пластинки тщательно промывались на первой стадии раствором жидкого мыла, затем органическим растворителем. Для получения более прочного сцепления основы выращиваемых наноострий с поверхностью кремния, образцы химически никелировали в растворе следующего состава (на литр раствора) хлористый никель 40–50 г, аммоний 45–55 г, лимоннокислый натрий 40–50 г, гипосульфид натрия 10–20 г, аммиак до синего цвета раствора. Никелирование производилось при температуре кипения, в течение 25 мин, с постоянным добавлением аммиака до синего цвета раствора [2].

Далее было очень важно закрепить шаблон ТМ к поверхности образца, поскольку в результате электрохимического осаждения никеля в растворе образуются пузырьки водорода, которые отталкивают мембрану от поверхности образца, в итоге под мембраной растет сплошная пленка в место острийной структуры.

Данная задача была решена следующим способом. Металлическая сетка с диаметром отверстий 300 мкм в результате воздействия внешнего магнитного поля прижимала мембрану к образцу. Известно, что при

гидролизе воды, которая находится в растворе, при больших напряжениях идет интенсивное выделение водорода на электродах. В нашем случае для уменьшения выделения водорода на электроде (подложке), осаждение проводили при малых напряжениях < 1 В.

Из известных литературных источников, наиболее плотный осадок (конические наноструктуры) при электрохимическом осаждении, может быть получен при растворе следующего состава (на литр раствора): 340 г – $NiSO_4$, 50 г – $NiCl_2$, 2 мл – спирта, 2 г – хлоромина (для получения блескообразующего осадка), 40 г – борная кислота. Перед электрохимическим осаждением раствор фильтровался через беззольный фильтр. В процессе осаждения pH раствора поддерживался в диапазоне 4,5–5, а температура 60 ºС. На рис. 2, *а* представлена микрофотография кремниевой пластинки с выращенной микроструктурой в порах ТМ.

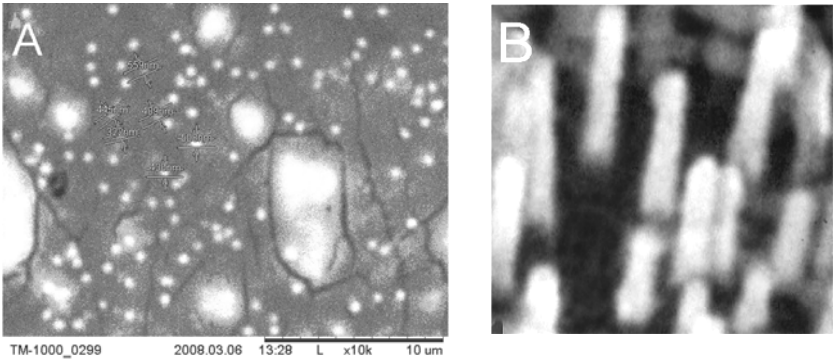


Рис. 2. *а* – микрофотография кремниевой пластинки с выращенной микроструктурой в порах ТМ; *б* – фрагмент поверхности массивной подложки с наностолбиками

На данном рисунке поры, заполненные никелем – белые точки, протяженность поры не больше 2 мкм, т.е. на поверхность шаблона наноострия еще не вышли. Микроструктура наноострий будет видна после стравливания трекового шаблона с поверхности подложки. На следующем рис. 2, *б* представлена микрофотография фрагмента поверхности массивной подложки с наностолбиками.

Из рис. 2, *б* видно, что столбики имеют четкую цилиндрическую форму, высота их 1,5 мкм. В дальнейшем предполагается использовать в качестве шаблона ТМ не с цилиндрическими порами, а коническими.

Таким образом, через трековый шаблон были выращены микро- и наностолбики никеля на массивных поверхностях кремния и никеля. Следует отметить, что трековый шаблон на основе ТМ позволяет выра-

щивать микро- и наноструктуры с желаемым рельефом и желаемых размеров.

Литература

1. *Гиваргизов Е.И.* Кристаллические вискеры и наноострия // Мембраны. Серия критические технологии. 2002. № 15. 9 с.

2. *Ямольский А.М., Ильин В.А.* Краткий справочник гальванотехника. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1981. 269 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ОБРАЗЦОВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ

М.Н. Цибульский

ТУСУР, г. Томск, Gorn-86@bk.ru

Способность акустических волн «чувствовать» изменения структуры и состояния материалов определило одно из наиболее широких и перспективных направлений в области неразрушающего контроля – ультразвуковой контроль.

Использование акустических методов неразрушающего контроля за состоянием металлов действующих объектов является одной из наиболее важных задач в современной транспортной и строительной системах. Неразрушающий контроль преследует как минимум три главные цели: определение наличия дефектов и их размеров, выявление остаточных внутренних напряжений и их значений, оценка ресурса работы изделия.

К сожалению, теме исследований изменения скорости распространения ультразвуковых волн в процессе пластической деформации материалов посвящено недостаточное количество работ. Отсутствуют работы по выявлению характера поведения скорости ультразвука в процессе релаксации напряжений или ползучести материалов. Поэтому актуальным является вопрос, рассматривающий влияние деформации твердого тела на скорость распространения ультразвука. Решение именно этого вопроса было основной целью технологической практики и последующего дипломирования.

Активное одноосное растяжение

Механические испытания проводились на жесткой испытательной машине Instron 1185 при заданных параметрах:

Скорости нагружения v = 0,5 мм/мин;

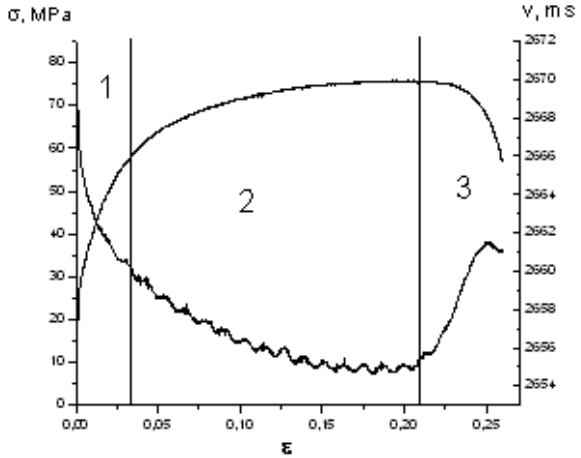
Силе нагружения F = 10 кН.

Для получения необходимых экспериментальных данных о состоянии материала и процессах, происходящих в нем, был использован аку-

стический метод – измерение скорости распространения ультразвука методом автоциркуляции импульсов.

Автоциркуляционный метод

Суть метода автоциркуляции заключается в том, что прошедший по образцу ультразвуковой импульс преобразуется в приемном пьезопреобразователе в электрический сигнал, формирующий следующий вводимый в образец импульс. При этом частота следования импульсов зависит от времени пробега импульсом расстояния между пьезопреобразователями, следовательно от скорости распространения ультразвука в образце (при неизменном расстоянии между пьезопреобразователями).



Зависимость скорости распространения ультразвука
от деформации и зависимость напряжения течения от деформации

Из рисунка видно, что скорость распространения ультразвука изменяется не равномерно.

На начальном участке деформационной кривой 1, значение скорости распространения ультразвука равномерно уменьшается. Далее при достижении участка с параболическим законом деформационного упрочнения 2, распространение скорости ультразвука становится неоднородным с ярко выраженными максимумами и минимумами. Данная периодичность появляется за счет увеличения количества дефектов в материале. Основные дефекты скапливаются вдоль границ образцов. Что создает дополнительные препятствия для свободного прохождения ультразвука по образцу. На участке, предшествующем образованию шейки 3, наблюдается увеличение величины скорости распространения ультразвука, что позволяет своевременно обнаруживать и выявлять тре-

щины и «шейки». В промышленном масштабе именно это позволяет выявлять повышенную дефектность конструкций и своевременно реагировать и не допускать их полного разрушения.

ИСЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАСТОЯНИЯ ЗАТВОР–СТОК НА ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ В ПТШ.

С.В. Двойников, студент 5 курса
ТУСУР, г. Томск, spiritdsv@ms.tusur.ru

В настоящее время создание мощных полевых транзисторов с затвором Шоттки (ПТШ) СВЧ-диапазона стоит в стране весьма остро. Решение данной задачи идет в двух направлениях: создание ПТШ с помощью гетероэпитаксиальных структур и ионно-имплантированных. В данной работе в основе технологии по созданию мощного GaAs ПТШ лежит ионная имплантация. Данный метод актуален и по сей день, хоть и гетероэпитаксиальные структуры обладают более высокими СВЧ-характеристиками, но на данный момент создание однородных по параметрам гетеро эпитаксиальных слоев в России весьма затруднительно. А гомоэпитаксиальные структуры обладают схожими параметрами, что и имплантированные на частотах до 20 ГГц. Также ПТШ, активная область которых создается при помощи ионной имплантации, обладают рядом преимуществ по сравнению с эпитаксиальными структурами, это устойчивость к внешним воздействиям (радиационная стойкость, механические напряжения вибрации). Также существует ряд зарубежных работ, посвященных преимуществам Гауссовского концентрационного профиля над эпитаксиальным боксовым. Что касается производственного процесса, то метод ионной имплантации отличается высокой технологичностью и воспроизводимостью параметров от процесса к процессу, что определяет его дешевизну.

Для решения поставленной задачи была разработана технология для получения выше указанных транзисторов, ключевым этапом которой является самосовмещение макета затвора. На структуре с *n*-каналом формируют диэлектрический макет (ложный затвор), затем методом ионной имплантации легируются контактные области стока и истока, маской служит рисунок фоторезиста, совмещенный с помощью проекционной литографии. Благодаря этому удается одновременно совместить n^+-область истока с макетом затвора, что уменьшает паразитное сопротивление, и изменять расстояние от макета до n^+-области стока. Далее после проведения активационного отжига в атмосфере арсина химическим травлением уменьшают макет, формируют омические контакты и с

помощью планаризации фоторезистом и технологии «на взрыв» напыляют металл затвора ПТШ.

По данной технологии получены первые образцы транзисторов с шириной затвора 75 мкм. Измерение пробивных напряжений и тока насыщения проведено на установке Л2-56. Полученные результаты представлены в таблице.

Экспериментальные результаты пробивных напряжений и тока насыщения

Lgd	0,75	1,25	1,75	2,25	2,75	3,75
Jds, мА	24	25	25	23	23	23
	25	25	24	23	24	23
	23	25	25	23	24	23
	20	25	23	23	23	22
Ugd пр, В	14	16	20	30	37	50
	14	17	20	32	37	50
	14	14	20	32	37	50
	9	18	24	32	37	40

По результатом измерений, приведенных в таблице, наблюдается линейная зависимость между пробивным напряжениям и расстоянием затвор-сток: при увеличении расстояния от края затвора до области с предполагаемой высокой напряженностью электрического поля, напряжение, при котором происходит электрический пробой, увеличивается.

Также ожидалась корреляция между током насыщения и расстоянием затвор – сток, в связи с увеличением сопротивления в данной области, но данной зависимости не наблюдается. Связано это, по видимому, с высокой погрешностью измерений тока, что обусловлено погрешностью самого прибора на данном диапазоне измерений и влиянием паразитного сопротивления контактных зондов и самого контакта зонд – контактная площадка ПТШ.

Литература

1. *Robert Anholt, Tomas W. Sigmon.* Ion Implantation Effect on GaAs MESFET’S // IEEE Transaction Electron Devices. February 1989. Vol. 3. No. 2. P. 250–255.

2. *Arthyr E. Geissenberg, Inder J. Bahl, Edward L. Griffin, Robert A. Sadler.* A New Refractory Self-Aligned Gate Technology for GaAs Microwave Power FET’s and MMIC’s // IEEE Transaction Electron Devices, May 1988. Vol. 35, No. 5. PP. 615–622.

3. *Watanabe M., Fukushi D., Yano H., and Nakajima S.* 0.10 μm Ion-Implanted GaAs MESFETs with Low Cost Production Process // Eudyna devices Inc. May 2007. PP. 187–190.

4. *Shigeru Nakajima, Masaki Yanagisawa, and Eiji Tsumura.* High-Performance GaAs MESFET’s with Advanced LDD Structure for Digital, Analog, and Microwave Applications // IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, JANUARY 1999. Vol. 46. No. 1. P. 38–47.

ВЛИЯНИЕ ХАЛЬКОГЕНИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ GaAs НА ПАРАМЕТРЫ БАРЬЕРНЫХ КОНТАКТОВ Ti/Au

С.В. Ишуткин, К.С. Носаева, студенты 5–6-го курсов; Е.В. Ерофеев [*]
ТУСУР, г. Томск, 2e10@sibmail.com
[*] *ОАО «НИИПП», г. Томск, ул. Красноармейская, 99*[a]

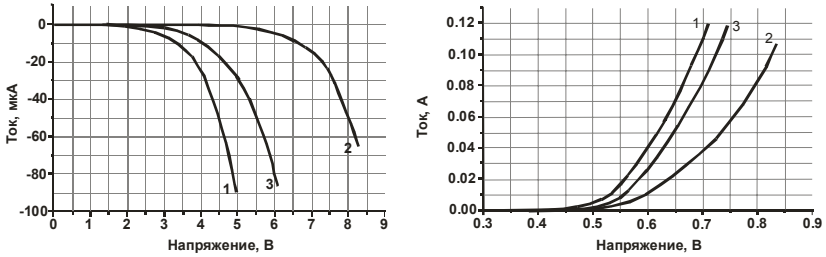
Интерес к процессам переноса носителей заряда в тонких приповерхностных слоях полупроводников (0,01–0,1 мкм) связан с общей тенденцией микроэлектроники к миниатюризации приборов и элементов интегральных схем, что приводит к росту влияния поверхности (отношение поверхность/объем возрастает пропорционально a^{-1}) на процессы в объеме. Большое влияние на процессы дрейфа носителей в приповерхностных слоях оказывают поверхностные состояния (глубокие уровни дефектов), и важной особенностью полупроводниковых материалов является то, что концентрация этих состояний существенным образом зависит от строения, электронного состояния и способов обработки поверхности.

Поскольку на поверхности кристалла происходит нарушение существующего в его объеме строгого порядка в расположении атомов, возникает большое количество оборванных связей (по порядку величины поверхностной плотности атомов твердого тела 10^{15} см$^{-2}$). Это приводит к тому, что на поверхности кристалла возникают особые энергетические уровни, локализованные непосредственно у поверхности и играющие роль ловушек электронов и дырок. Носители захватываются этими ловушками, образуя поверхностный электростатический заряд. С этим зарядом связано обычно сильное (~10^5 В/см) электрическое поле, влияющее на поведение носителей заряда в приповерхностном слое полупроводника, что проявляется во многих физических явлениях (электропроводность, работа выхода, фотоэффекты, люминесценция, контактные явления и др.) [1]. На практике это приводит к нежелательным изменениям характеристик и нестабильности параметров полупроводниковых приборов. Поэтому важной задачей является разработка и внедрение методов подготовки поверхности. приводящих к снижению плотности поверхностных состояний.

Присутствие на поверхности арсенида галлия слоя естественного окисла заметно ухудшает параметры приборов на основе контактов металл–полупроводник. Исходя из этого, при разработке методов пассивации требуется найти такой способ модификации поверхности, который бы предотвратил ее окисление и сопутствующее окислению дефектообразование. Одним из наиболее эффективных приемов химической модификации поверхности GaAs является сульфидная обработка поверхности

полупроводника [2]. В результате таких воздействий на очищенной от оксида поверхности GaAs формируется сверхтонкая пленка, имеющая связи Ga-S и As-S, подавляющая окисление и обеспечивающая необходимое структурно-химическое сопряжение полупроводника с внешним металлом в приборных структурах.

В настоящей работе выполнены исследования влияния халькогенизации поверхности GaAs перед напылением барьерных контактов Ti/Au на характеристики этих контактов. В экспериментах использовались подложки n-GaAs, с концентрацией электронов $3–4\cdot10^{16}$см$^{-3}$. На обратной стороне подложек формировался сплавной омический контакт AuGeNi. На лицевой стороне пластины с помощью фотолитографии формировались окна под барьерные контакты. Далее образцы делились на три группы. Первая группа была контрольной, здесь пассивация поверхности не производилась. Поверхность образцов второй группы пассивировалась в растворе $(NH_4)_2S$. У образцов третьей группы после пассивации поверхность дополнительно обрабатывалась в солях цинка, для закрепления эффекта пассивации. После чего производилось напыление пленок Ti и Au. Далее образцы отжигались при температуре 400 ºС. Параметры исследуемых структур определялись из вольт-амперных характеристик барьеров Шоттки (рисунок).



а *б*

Вольт-амперные характеристики структур TiAu/GaAs: *а* – обратные, *б* – прямые; полученные на контрольных образцах 1, образцах прошедших пассивацию 2, и образцах прошедших пассивацию+закрепление 3

Установлено, что в случае пассивации поверхности GaAs, электрофизические параметры структур TiAu/GaAs улучшаются. Уменьшаются обратные токи утечки, возрастают напряжения пробоя. Так измеренный ток при приложении обратного напряжения 4 В и напряжение пробоя (по уровню 100 мкА) соответственно для образцов первой группы составляет 25 мкА и 5 В, для второй группы 0,4 мкА и 8,5–9 В, и у третьей группы – 8 мкА и 6–6,5 В.

Кроме этого, происходят изменения в характеристиках прямой ветви ВАХ. В частности, коэффициенты идеальности *n*, определяемые из прямой ветви ВАХ для образцов первой группы составили 1,12±0,02, у образцов пошедших пассивацию 1,08±0,02, – и у образцов прошедших пассивацию + закрепление, – 1,05±0,02. Помимо того, используя ВАХ, была рассчитана высота барьеров. Для первой группы она составила 0,73эВ, у образцов, прошедших пассивацию 0,82 эВ, и у образцов, прошедших пассивацию + закрепление, – 0,8 эВ.

Представленные результаты показывают положительное влияние халькогенизации на параметры барьерных контактов. В частности уменьшаются обратные токи утечки, возрастает пробивное напряжение, уменьшается коэффициент идеальности ВАХ. Улучшение параметров барьеров, по-видимому, связано с уменьшением плотности поверхностных состояний за счет формирования сульфидного пассивирующего слоя на поверхности GaAs.

Литература

1. *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. Ч. 1. 455 с

2. *Бедный Б.И.* Электронные ловушки на поверхности полупроводников // Физика. 1998.

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО ПОКРЫТИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ ИСПАРЕНИЕМ ГРАФИТА

Д.Л. Кайгородов, студент 5 курса;
А.В. Медовник, аспирант каф. физики
ТУСУР, г. Томск, dance42@rambler.ru

Введение

Существенным препятствием на пути широкого использования углеродных нонообъектов (фуллеренов и нанотрубок) является сложность и дороговизна технологии их получения. Применяемые способы характеризуются значительным количеством разнородных технологических операций и чрезвычайно низким выходом готовой продукции. Это указывает на необходимость совершенствования существующих и поиск новых способов и технологических приемов приготовления углеродных наноструктур. Одним из таких способов может быть электронно-лучевое испарение графита. Отсутствие сообщений о применении этого способа может быть связано с необходимостью поддержания в реакционной камере сравнительно высокого давления газа (1–10 кПа) в то время, как существующие электронные источники работают при давлениях

0,01–0,1 Па. В научной лаборатории кафедры физики ТУСУР разработан источник, способный генерировать электронный пучок при давлениях до 20 Па и более. Это дает основания полагать, что с его помощью могут быть получены углеродные наноструктуры.

Техника эксперимента

Эксперимент планируется проводить с использованием электронного источника [1], схема которого представлена на рис. 1.

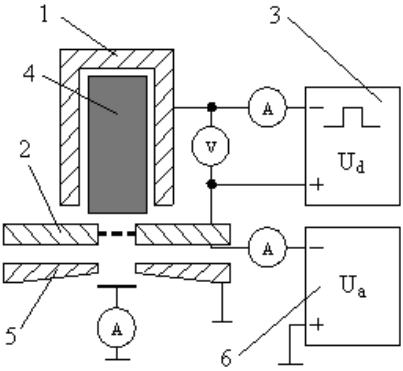


Рис. 1. Конструкция источника электронов.
1 – полый катод; 2 – анод; 3 – источник импульсного напряжения; 4 – плазма; 5 – экстрактор; 6 – источник постоянного напряжения

На промежуток полый катод 1 – анод 2 подается разрядное напряжение от блока питания разряда (БПР) 3. Появление разрядного тока означает возникновение плазмы 4 в катодной полости. Фиксация положения эмиссионной границы плазмы происходит за счет перекрытия мелкоструктурной сеткой окна в анодном электроде 2. Между анодом 2 и экстрактором 5 прикладывается постоянное ускоряющее напряжение от блока ускоряющего напряжения (БУН) 6. Изменение давления производится напуском газа (воздуха) в вакуумную камеру, которая откачивается механическим агрегатом АВЗ-50. Давление измеряется вакуумметром Пирани D02378000 APGX-L-150D.

Для проведения экспериментов по испарению графита изготовлена оснастка, схема которой представлена на рис. 2. Оснастка устанавливается в вакуумную камеру. Электронный пучок 1 попадает на графитовую мишень 2, закрепленную на держателе 3. Испаряемый графит осаждается на подложку 4, закрепленную на подложкодержателе 5. Время осаждения регулируется заслонкой 6, которая управляется электромагнитным приводом 7. Экран 8, прикрепленный к основанию 9, служит для предотвращения загрязнения камеры.

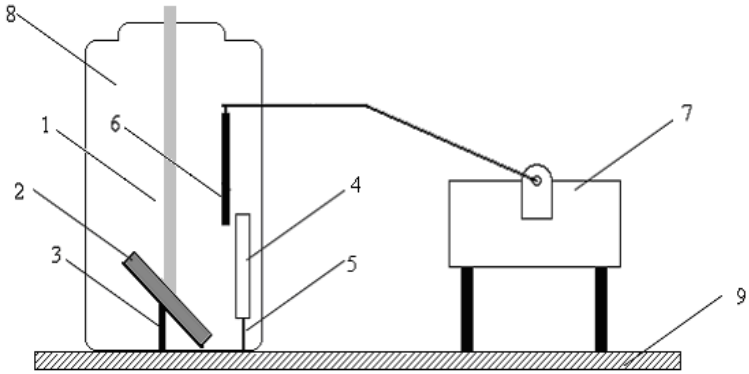


Рис. 2. Схема оснастки для электронно-лучевого метода распыления графита.
1 – электронный пучок; 2 – мишень из графита; 3 – держатель для графита;
4 – подложка; 5 – подложкодержатель; 6 – заслонка;
7 – электромагнитный привод заслонки;
8 – экран; 9 – основание

Тепловой расчет

Для оценки принципиальной возможности испарения графита был проведен расчет на основании уравнения теплового баланса, которое в одномерном приближении имеет вид

$$P_{\text{уд.}} = \alpha\sigma T_x^4 + \frac{\lambda\left(T_x - T_{\text{гр.}}\right)}{L},$$

где $P_{\text{уд.}}$ – удельная мощность; α – коэффициент серости (для графита $\alpha = 0{,}9$); σ – постоянная Стефана–Больцмана ($\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$); λ – коэффициент теплопроводности (для графита $\lambda = 67 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$); T_x – температура на поверхности графитовой мишени; $T_{\text{гр.}}$ – температура на задней стенке графитовой мишени; L – толщина графитовой мишени (L = 20 мм в нашем случае).

По результатам расчета был построен график зависимости температуры поверхности графитовой мишени от удельной мощности, приносимой на мишень электронным пучком (рис. 3). Требующиеся для испарения графита удельные мощности могут быть обеспечены источником, который планируется применить в настоящей работе.

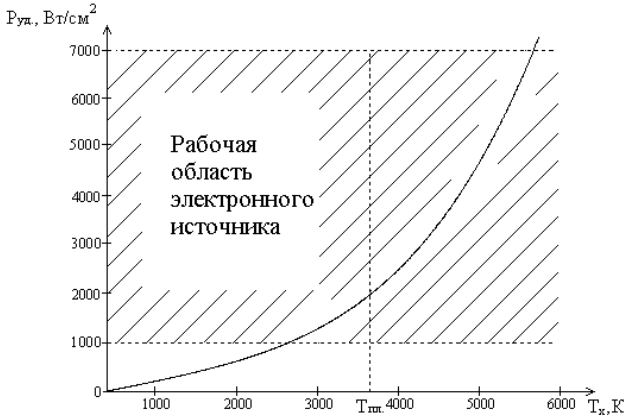


Рис. 3. График зависимости удельной мощности от температуры поверхности подложки

Работа выполняется при поддержке РФФИ, грант 08-08-00015.

Литература

1. *Бурачевский Ю.А., Бурдовицин В.А., Окс Е.М. и др.* // Известия вузов. Физика. 2001. Вып. 9. С. 85–89.

ФОРМИРОВАНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ И НАНОАЛМАЗОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ КРЕМНИЕВОЙ МИШЕНИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

Д.И. Короченко, студент 5-го курса
ТУСУР, г. Томск, agent005@sibmail.com

В докладе представлены результаты исследования синтеза наноразмерных частиц короткоимпульсной имплантации ионов углерода и протонов. Эксперименты проведены с использованием источника мощных ионных пучков типа «ТЕМП» на основе магнитоизолированного диода с B_r полем. Параметры пучка: энергия ионов 300 кэВ, длительность импульса 80 нс, состав пучка – ионы углерода и протоны, плотность ионного тока до 30 А/см^2

На рис. 1 представлена геометрическая схема расположения мишени, подложки и ионного пучка. Мишень устанавливается вблизи фокуса диода на расстоянии R от анода, наклонно к ионному пучку. Распыляемая поверхность мишени расположена нормально (отсчет от поверхности) к направлению распространения ионного пучка.

Рис. 1. Геометрическая схема процесса осаждения тонких пленок: R – расстояние от анода до центра мишени

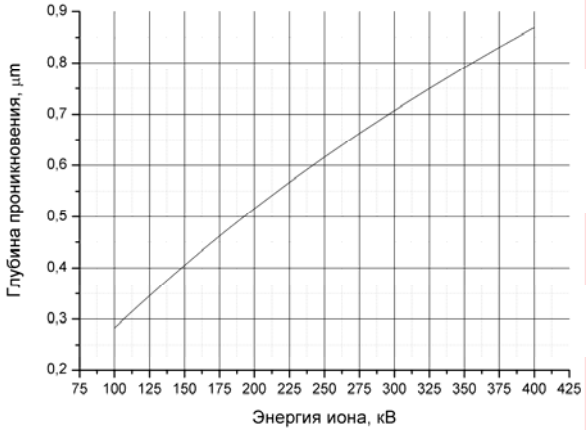
Откачка рабочей камеры ускорителя производится до остаточного давления на уровне ~ 10^{-5} Торр с помощью диффузионного насоса.

Сформированный пучок ионов движется в вакууме к мишени, и при взаимодействии с материалом мишени образуется абляционная плазма, которая и осаждается на подложку. Пленки, полученные таким способом предположительно должны иметь нанокристаллическую структуру и обладать свойствами, нехарактерными ни для массивного материала, ни для пленок, полученных другими методами.

Нанесение пленки осуществляется либо одиночным импульсом, либо серией из нескольких импульсов.

В настоящей работе расстояние между вакуумным диодом и мишенью составляло 2,5 см, диаметр луча много больше диаметра мишени, т.е облучается вся поверхность мишени. В качестве мишени использовались пластины монокристаллического кремния.

Состав и структура пленок были исследованы методами ИК-спектроскопии. Морфология поверхности пленки опрелелялась при использовании сканирующей электронной микроскопии.



Средняя концентрация имплантированных ионов углерода в поверхностном слое при 100 импульсах превышала $2 \cdot 10^{20}$ см$^{-3}$.

Рис. 2. Глубина проникновения ионов C^+ в Si (расчетные значения, полученные в программе SRIM2006)

Для идентификации частиц и оценки размера частиц использовались рентгеновский малоугловой дифрактометр и фотолюминесценция поверхностных слоев кремниевых мишеней.

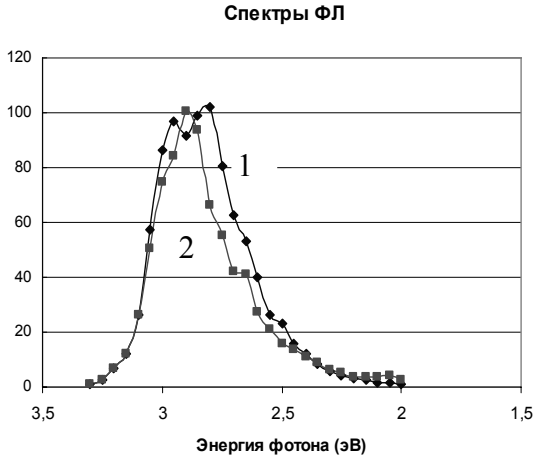


Рис. 3. Спектры ФЛ ($\lambda_{возб}$ = 337 нм) образцов Si (C) после 500 импульсов (1) и 100 импульсов (2) при температуре 300 К

При последовательном воздействии более 100 импульсов HPIB наблюдалось формирование наноразмерных частиц SiC и наноалмазов, а также переход поверхностного слоя кремниевой мишени из монокристаллической фазы в поликристаллическую. Дальнейшее увеличение числа импульсов приводит к повышению доли частиц в поверхностном слое мишени и незначительному росту размеров кристаллитов. Средний размер области когерентного рассеяния частиц SiC и наноалмазов 12–16 и 8–9 нм соответственно.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ AUGENI

К.С. Носаева, С.В. Ишуткин, студенты; Е.В. Ерофеев [*]

ТУСУР, г. Томск, kshusha@ms.tusur.ru

[*] *ОАО «НИИПП», г. Томск, Красноармейская, 99а*

Основным элементом микросхем на арсениде галлия является полевой транзистор с затвором Шоттки (ПТШ). От быстродействия данного транзистора зависит производительность микросхемы в целом. Так что важной задачей технологии является обеспечение наилучших частотных, а также шумовых параметров данного класса приборов.

Целью данной работы является исследование возможности улучшения традиционно используемой в НИИ ПП технологии формирования омических контактов (ОК), а также разработка технологии получения послойных омических контактов для MESFET-транзисторов.

Требования, предъявляемые к омическим контактам:

1. Низкое значение приведенного контактного сопротивления ($<10^{-6}$ Ом·см^2).
2. Линейность ВАХ контактов, как при прямом, так и при обратном смещении.
3. Гладкая морфология поверхности.
4. Высокая термостабильность.
5. Высокая воспроизводимость характеристик.
6. Встраиваемость технологии изготовления в технологический маршрут.

Традиционными контактами для НИИПП являются сплавные контакты AuGeNi (12% Ge+88% Au, 10–12% Ni от общей массы AuGe). На рис.1 и 2 представлены кривые отжига послойных ОК и традиционных сплавных контактов AuGeNi. Из рис. 1 видно, что минимумы удельного контактного сопротивления смещены как по значениям, так и по температурам отжига, при которых достигается минимум. Это связано с разным составом получаемой пленки и различным распределением элементов по глубине в зависимости от тока испарения, точность задания которого мала.

Для решения проблемы воспроизводимости характеристик контактов AuGeNi было предложено напылять послойные омические контакты Ge/Au/Ni (40/80/20 нм). В процессе напыления таких контактов имеется возможность точнее контролировать процесс напыления каждого слоя материала.

Из данного рис. 2 видно, что разброс по минимальным значениям приведенного контактного сопротивления, а также по температурам отжига, соответствующим этим минимумам, значительно меньше, чем для сплавных ОК.

Послойный омический контакт Ge/Au/Ni достигает минимального приведенного контактного сопротивления $\rho_{min}=(4{,}2 \pm 1{,}4)\times10^{-4}$ Ом·см^2 при температуре отжига $T_{min} = 420 \pm 5\ ^0$C, в то время как для традиционного контакта $\rho_{min} = (5 \pm 2)\times10^{-4}$ Ом·см^2 при $T_{min} = 430 \pm 30\ ^0$C. Это свидетельствует о том, что послойная технология позволяет создавать контакты с более высокой воспроизводимостью характеристик.

Послойный контакт обладает более гладкой морфологией поверхности в точке минимума контактного сопротивления. Гладкая морфология

поверхности контакта Ge/Au/Ni сохраняется при более высоких температурах отжига.

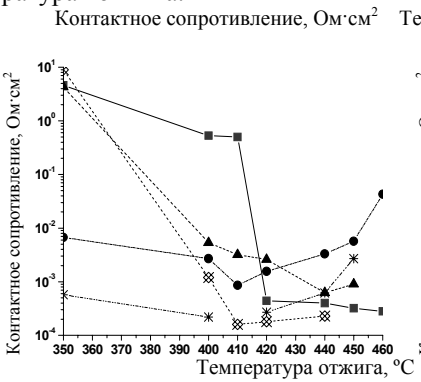


Рис. 1. Кривые отжига омических контактов AuGeNi (150 нм) для серии повторных экспериментов; t = 5 мин, среда – азот

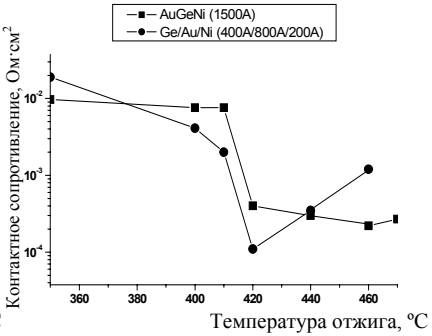


Рис. 2. Кривые отжига омических контактов Ge/Au/Ni (40нм/80нм/20нм) для серии повторных экспериментов; t = 5 мин, среда – азот

Согласно данным сканирующей электронной микроскопии распределение проводимости по поверхности послойного контакта более однородно, чем по поверхности традиционного контакта.

Недостатком такого контакта является верхний слой Ni (для встраивания в технологический маршрут изготовления ПТ сверху необходим слой золота), а также деградация контакта из-за обратной диффузии Ga на поверхность контакта, диффузия Au и Ni GaAs, которые, выступая в роли лигатуры *p*-типа, могут привести к росту контактного сопротивления, а также образование интерметаллических фаз в процессе отжига ОК.

Для уменьшения степени деградации контакта было предложено ввести диффузионный барьер для проникновения золота в подложку GaAs. В качестве такого барьера выступает композиция Ti/Au. Кривые отжига ОК Ge/Au/Ni и Ge/Au/Ni/Ti/Au представлены на рис. 3.

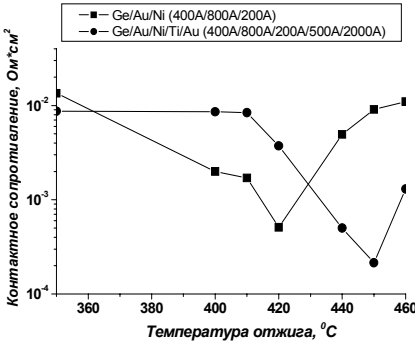


Рис. 3. Кривые отжига омических контактов Ge/Au/Ni и Ge/Au/Ni/Ti/Au; t = 5 мин, среда – азот

Введение Ti диффузионного барьера в состав металлизации омического контакта Ge/Au/Ni позволяет уменьшить значение приведенного контактного сопротивления с 5×10^{-4} Ом·см^2 до 2×10^{-4} Ом·см^2. Морфология поверхности контактных площадок Ge/Au/Ni/Ti/Au сохраняется гладкой во всем диапазоне использованных температур отжига. Основным недостатком данной технологии является многослойность металлизации контакта, что технологически сложно реализовать на установках термического напыления типа УВН-71П-3, используемых в НИИПП.

Литература

1. *Relling E., Botha A.P.* / Solid state diffusion in GaAs/AuGe/Ni // Appl. Surface Sci. Vol. 35. № 3. 1988–1989. P. 380–387.

2. *Liliental Z., Carpenter R.W., Escher J.* Electron microscopy study of the AuGe/Ni/Au contacts on GaAs and GaAlAs // Ultramicroscopy. № 14. 1984. P. 135–143.

3. Арсенид галлия в микроэлектронике: Пер. с англ. с сокращ. и доп. / Под ред. Н. Айнспрука, У. Уиссмена. М.: Мир, 1988. 555 с.

4. *Шур М.* Современные приборы на основе арсенида галлия: Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 632 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛЕГИРОВАНИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ GAAS ЦИНКОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

К.Ю. Осипов, студент;
науч. рук. Н.А. Чернов, начальник лаборатории
МГЭ ОАО «НИИ ПП» г. Томск

Современная технология выращивания эпитаксиальных слоев арсенида галлия в газотранспортных системах (хлоридной, хлоридно-гидридной, эпитаксиальное выращивание с использованием металлорганических соединений) подошла к таким технологическим задачам, когда применение ограниченного числа веществ в качестве легирующих компонентов эпитаксиальных слоев арсенида галлия для придания областям эпитаксиальных слоев *p*-типов проводимости не может привести к желаемым результатам вследствие своих физико-химических свойств. Существует ряд задач в СВЧ-электронике и оптоэлектронике, когда возникает проблема создания легированных мелкими акцепторными примесями областей эпитаксиальных структур приборного применения, например, для оптоэлектроники – это создание лазеров, а для СВЧ-электроники – это создание гетеробиполярного транзистора. В значительной степени интенсивность исследований легирования примесями

p-типа проводимости полупроводниковых материалов обязана разработкам гетеробиполярного транзистора. Однако большая часть работ в этом направлении относится к зарубежным публикациям, выполненным с применением методов молекулярно-лучевой и МОС-гидридной эпитаксии, а в отечественной литературе имеется очень ограниченное количество работ, затрагивающих данную проблему.

Таким образом, возникает потребность активно исследовать возможность легирования эпитаксиальных слоев примесями, образующими мелкие акцепторные уровни в запрещенной зоне полупроводниковых соединений A^3B^5.

При осаждении эпитаксиальных слоев соединений A^3B^5 *p*-типа проводимости наиболее часто в качестве легирующих примесей применяются элементы второй группы: цинк, бериллий, магний и кадмий. В литературе имеется большое количество работ, посвященных проблеме легирования соединений A^3B^5 примесями, образующими мелкие акцепторные уровни. Однако при анализе литературных сообщений мы ограничились рассмотрением таких методов легирования, которые могут быть использованы для всех видов газофазовой эпитаксии (хлоридная, хлоридно-гидридная, эпитаксия с применением металлоорганических соединений).

В настоящее время в связи с развитием МОС-гидридной эпитаксии при получении эпитаксиальных слоев GaAs *p*-типа проводимости в качестве источника легирующей примеси широко используются алкильные соединения цинка. Несмотря на то, что, согласно исследованиям получения слоев *p*-типа проводимости методами термической диффузии, цинк обладает высоким коэффициентом диффузии в соединениях A^3B^5, данная примесь в настоящее время является наиболее часто применяемой при осаждении эпитаксиальных слоев *p*-типа проводимости. Коэффициент диффузии цинка равен 7×10^{-8} см^2/с при 900 ºС или 1×10^{-9} см^2/с при 700 ºС (а при последней температуре обычно наращивается большинство приборных структур). Это соответствует 20 мкм диффузии за 1 ч роста. В качестве легирующих соединений при осаждении эпитаксиальных слоев соединений A^3B^5 используются обычно алкильные соединения цинка, диэтилцинка (ДЭЦ) $Zn(C_2H_5)_2$ и диметилцинка (ДМЦ) $Zn(CH_3)_2$.

Наиболее перспективным элементом для легирования эпитаксиальных слоев соединений A^3B^5 и твердых растворов на их основе при газофазовой эпитаксии является магний. Mg образует в GaAs мелкий акцепторный уровень. Он используется в качестве примеси при создании диодов и транзисторов на основе GaAs. В качестве источника магния в основном используются металлоорганические соединения: бисциклопентадиенил магния $(C_5H_5)_2Mg$] или бисметилциклопентадиенил магния

$(CH_3)(C_5H_5)_2Mg$. Первый представляет твердое вещество с точкой плавления 177 ºС и имеет давление пара при комнатной температуре $P_{(C5H5)2Mg}=5,1\cdot10^{-2}$ мм. рт. ст. Второй имеет точку плавления 27 ºС, что позволяет использовать его в жидком виде.

При осаждении многослойных эпитаксиальных структур, содержащих слои с различным типом проводимости, было обнаружено наличие «эффекта памяти» по легирующей примеси, обусловленного по предположению авторов, адсорбцией паров легирующего компонента на поверхности кварцевого реактора и внутренних стенок металлических трубопроводов. Подобное явление адсорбции при подаче легирующей примеси и десорбции при выключении легирующего потока приводит к затягиванию концентрационного профиля мелкой акцепторной примеси в растущем эпитаксиальном слое и затрудняет получение резкого *p–n*-перехода. Проведение исследований влияния температуры магистралей, подводящих легирующий поток примеси, позволило уменьшить «хвост» остаточного легирования, но избавиться полностью от «эффекта памяти» не удалось.

Также в последующих исследованиях процессов легирования эпитаксиальных слоев мелкой донорной примесью, в качестве которой использовалась сера, был также обнаружен эффект памяти по донорной примеси. В качестве легирующего источника применялась газовая смесь SF_6 +He из баллона. Выращивались структуры n^+–n_i типа в едином технологическом процессе. Было замечено, что на концентрацию примеси в n_i слое существенное влияние оказывал уровень легирования n^+ слоя, что могло свидетельствовать о том, что при большом потоке серы в реактор который имеет место при наращивании n^+ слоя, происходит накопление серы в какой-то части реактора, либо в каких-то частях газовых магистралей. Были предприняты попытки уменьшить влияние концентрации в n^+ слое на уровень легирования n_i слоя, в частности после наращивания n^+ слоя происходило выдвижение подложки в зону чистого водорода и производилось газовое травление реактора (травление позволило бы исключить влияние примеси адсорбировавшейся на стенках реактора). Также была попытка скомпенсировать влияние накопившейся в реакторе примеси с помощью изменения потока SF_6+He в ретродифузионную ячейку (РДЯ), т.е. в начале роста поток SF_6 +He в РДЯ был меньше расчетной величины, и затем на протяжении всего процесса роста n_i слоя линейно увеличивался до расчетного значения. Обе эти попытки не принесли ощутимых результатов, но позволили исключить ряд гипотез о механизме эффекта памяти по сере. Также были рассмотрены гипотезы о накоплении серы в источнике галлия, и о диффузии примеси из n^+ слоя. Однако измения конструкции реактора, при которой трубка через которую поступал легирующий поток была удлинена, и поток стал вво-

дится в реактор дальше от источника, не дали результатов. Гипотеза о диффузии примеси из n^+ слоя также маловероятно ввиду низкого коэффициента диффузии серы в арсениде галлия, и большой толщины слоев. В результате так и не удалось получить точного механизма эффекта памяти по сере, однако это не помешало получать слои с необходимой концентрацией и профилем легирующей примеси, используя ряд технологических приемов.

Очевидно, что для легирования эпитаксиальных слоев арсенида галлия примесями *p*-типа проводимости в методах газофазовой эпитаксии наиболее широко используются цинк и магний. Применение бериллия для легирования эпитаксиальных слоев GaAs весьма ограничено вследствие токсичности примеси и ее соединений. Цинк, как легирующая примесь, успешно применяется для получения высоколегированных слоев арсенида галлия в МОС-гидридной и хлоридной эпитаксии, но при легировании арсенида галлия в хлоридной эпитаксии наблюдается «эффект памяти» по легирующей примеси. Весьма интересным фактом для цинка является то, что в литературе по осаждению легированных цинком слоев в МОС-гидридной системе не отмечается инерционность легирования данной примесью. Магний наиболее интересная примесь, имеющая высокую растворимость в арсениде галлия, но для легирования магнием необходима высокая степень чистоты водорода по остаточной влаге и кислородосодержащим соединениям. Применение кадмия в качестве легирующей примеси в процессах газофазовой эпитаксии не получило широкого распространения, что связано с низкой величиной предельной растворимости кадмия в GaAs. Большая часть работ, связанных с изучением легирования эпитаксиальных слоев арсенида галлия примесями *p*-типа проводимости, выполнена с применением МОС-гидридной эпитаксии.

Целью данной работы является исследование возможности получения эпитаксиальных слоев, легированных мелкой акцепторной примесью с концентрацией дырок в диапазоне от 10^{18} до 10^{19} см$^{-3}$. А также получение n_i и n^+ слоев с концентрацией доноров 5×10^{14} и 5×10^{17} соответственно, а также резким переходом между слоями.

Литература

1. *Вилисова М.Д., Катаев Ю.Г., Чернов Н.А., Бобровникова Н.А., Тетеркина И.В., Лаврентьева Л.Г.* Электрофизические свойства эпитаксиального арсенида галлия, легированного акцепторными примесями // Известия вузов. ФИЗИКА. 1995. № 2. С. 54–58.

2. *Enquist P., Hutchby G.A., T.G. de Lyon*. Growth and diffusion of abrupt zinc profiles in gallium arsenide and heterojunction bipolar transistor structures grown by organometallic vapor phase epitaxi // J. Appl. Phys. 63 (9), 1988, P. 4485–4493.

3. *Зи. С.* Физика полупроводниковых приборов. Ч. 1. М.: Мир, 1984. 455 с.

СЧЕТЧИК ДОЗЫ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

В.Н. Павлов, студент; С.И. Арестов, инженер;
С.И. Горбачев, старший инженер
ТУСУР, г. Томск, Rusut@sibmail.com

Ионная имплантация является одним из наиболее перспективных способов обработки поверхности в ресурсосберегающих технологиях.

Одним из параметров, с помощью которого можно управлять процессом обработки поверхностей является доза ионного облучения. Следовательно, существует необходимость контроля набранной дозы ионов. Такой контроль позволяет осуществить разрабатываемое устройство – измеритель дозы ионного облучения.

Необходимость применения данного устройства измерения дозы ионного облучения помогают понять осциллограммы ускоряющего напряжения (рис. 1, *а*), тока дуги (рис. 1, *б*) и тока ионов (рис. 1, *в*).

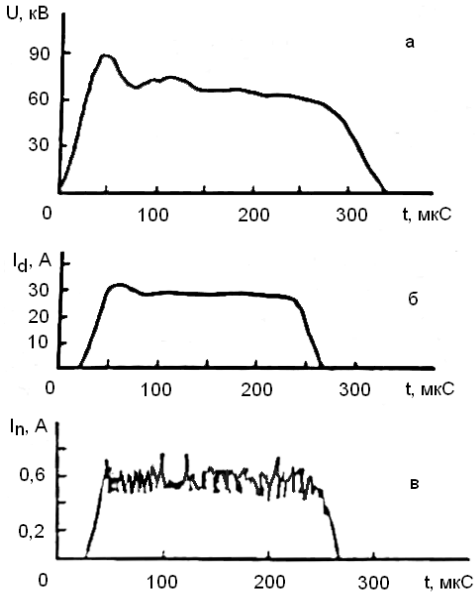


Рис. 1. Осциллограммы ускоряющего напряжения (*а*), тока дуги (*б*) и тока ионов (*в*)

Из рис. 1 видно, что ионный ток имеет сложную форму. Это затрудняет вычисление набранной дозы, зная другие условия имплантации (длительность и амплитуду ускоряющего импульса, тока дуги и времени процесса имплантации).

Разрабатываемое устройство будет вести счет набранной дозы, преобразуя величину количества ионов за импульс в заряд, пропорциональный этому количеству. Общая доза ионного облучения будет равна сумме этих доз.

Роль датчика ионов будет выполнять цилиндр Фарадея с активной рабочей поверхностью 1 см^2.

Принцип работы разрабатываемого модуля измерения дозы поясняет структурная схема, приведенная на рис. 2.

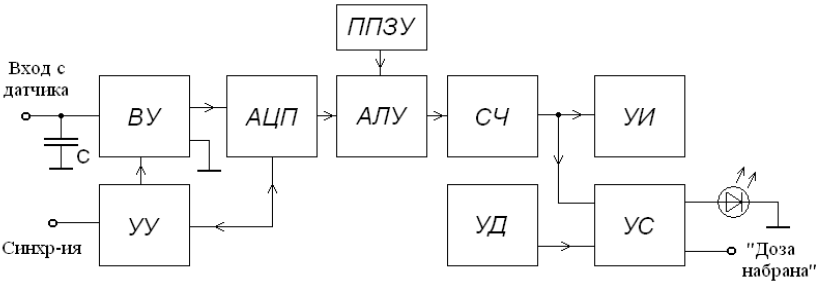


Рис. 2. Структурная схема модуля измерения дозы: ВУ – входное устройство; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; УУ – устройство управления; ППЗУ – программируемое постоянное запоминающее устройство; АЛУ – арифметико-логическое устройство; СЧ – счетчик; УИ – устройство индикации; УД – установка дозы; УС – устройство сравнения

С цилиндра Фарадея сигнал приходит на емкость, заряжая ее до напряжения пропорционального количеству пришедших ионов. Входное устройство по команде управляющего устройства подключает емкость к усилителю и подает измеряемую величину на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП). После того как на выходе АЦП появляется цифровое значение, входное устройство разряжает емкость, подготавливая ее к следующему измерению. С выхода АЦП цифровой сигнал подается на арифметико-логическое устройство, где по программе, записанной в постоянное запоминающее устройство, производится преобразование цифрового значения с выхода АЦП в последовательность импульсов. Эти импульсы накапливаются счетчиком и выводятся на устройство индикации.

Устройство сравнения сверяет значение установленной оператором дозы со значением на выходе счетчика. Когда показания равны, устройством сравнения выдается сигнал «Доза набрана» и загорается одноименный светодиод. Сигнал «Доза набрана» может быть использован в дальнейшем для управления устройством, отключающим источник ионов.

Данное устройство призвано обеспечить:

– Поиск технологических режимов, позволяющих получить полезные свойства обрабатываемых материалов.

– Повторяемость технологического процесса.

– Автоматизацию технологического процесса.

МЕХАНОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Д.М. Разамбаев

ТУСУР, г. Томск, dimas17212@mail.ru

Конструкции из композиционных строительных материалов, такие как бетоны и железобетоны, часто эксплуатируются в условиях низких температур. В результате длительной эксплуатации в таких условиях происходит снижение прочности строительных конструкций. В настоящее время нет надежных методов определения происходящих в материале нарушений в процессе эксплуатации наружных строительных конструкций. Для решения этой задачи может быть использовано явление механоэлектрических преобразований в диэлектрических конструкционных материалах, которое на протяжении ряда лет изучается в Томском политехническом университете.

Проведенными исследованиями показано, что параметры электромагнитного отклика на импульсное механическое возбуждение материалов хорошо коррелируют с изменением напряженно-деформированного состояния в композиционных диэлектрических материалах [1] и их дефектностью [2].

В процессе замораживания бетона снижение их прочности связано с расклинивающим действием воды в процессе ее замерзания в порах и микротрещинах, которое приводит к появлению локальных очагов напряжений и увеличению числа микроповреждений структуры материала.

Задачей данной работы является исследование параметров электромагнитного отклика на импульсное механическое возбуждение в условиях длительного низкотемпературного воздействия и установление взаимосвязи с изменением механических характеристик композиционных диэлектрических материалов.

Исследования механоэлектрических преобразований в условиях низкотемпературного воздействия проводились на цементно-песчаных образцах. Образцы представляли собой параллелепипеды размером 10×5×5см. Ударное возбуждение производилось электромеханическим ударным устройством, позволяющим осуществлять однократный нормированный по силе удар. Регистрация электрической составляющей электромагнитного отклика осуществлялась с помощью емкостного датчика, помещенного вблизи боковой поверхности образца. Электрический сигнал регистрировался с помощью осциллографа «PC-Scope PSC-500», совмещенного с ЭВМ.

Были проведены экспериментальные исследования параметров электромагнитного отклика в процессе длительного замораживания образцов в морозильной камере. Замораживание образцов производилось при температуре – 20 ºС.

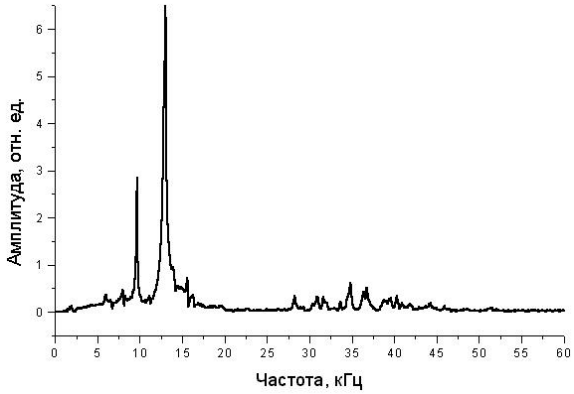


Рис. 1. Типичная спектральная характеристика электромагнитного отклика из цементно-песчаного образца

На рис. 1 приведена типичная амплитудно-частотная характеристика из цементно-песчаного образца. Из рисунка видно, что спектр электромагнитного отклика имеет достаточно простой вид, в котором имеется явно выраженный максимум, соответствующий первой гармонике продольных акустических колебаний в направлении возбуждения. Для дальнейшего анализа динамики изменения параметров электромагнитного отклика производилось отслеживание характера изменения именно этого максимума в зависимости от времени замораживания.

На рис. 2 приведены спектральные характеристики электромагнитных откликов, зарегистрированных из сухого цементно-песчаного образца в режиме постоянного замораживания в течение 20 дней. Рассмотрим более детально, как в процессе длительного замораживания сухого цементно-песчаного образца изменяется амплитуда и частота основного спектрального максимума.

Из рис. 2 видно, что на начальных этапах замораживания образцов (в течение первых трех суток) наблюдается возрастание частоты и уменьшение амплитуды основного спектрального максимума электромагнитного отклика, что может являться следствием возникновения внутренних механических напряжений в результате сжатия образца при замораживании. Это приводит, в первую очередь, к уменьшению размера пор, а следовательно, и скорости продольных акустических колеба-

ний, которая и определяет частотную характеристику электромагнитного отклика. А затем, видимо, начинается процесс микрорастрескивания образцов, вызванный расклинивающим действием воды в процессе замораживания. Это приводит к уменьшению скорости звука и, как следствие – уменьшению частоты.

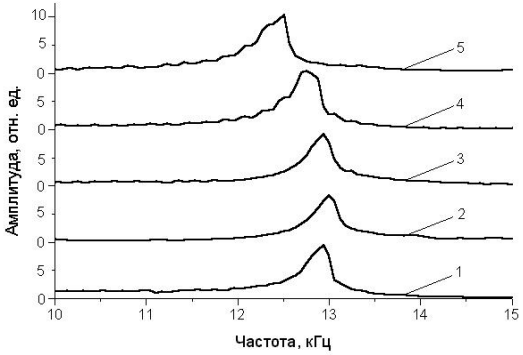
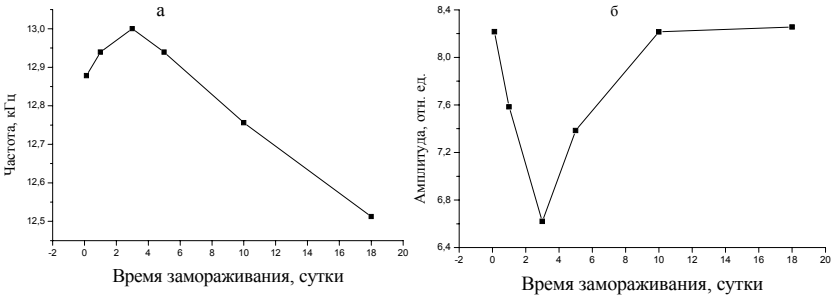


Рис. 2. Характер изменения основного спектрального максимума электромагнитного отклика в зависимости от времени выдержки образцов в морозильной камере: *1* – 1; *2* – 3; *3* – 5; *4* – 10; *5* – 18 дней



а *б*

Рис. 3. Изменение частоты (*а*) и амплитуды (*б*) основного спектрального максимума электромагнитного отклика из цементно-песчаного образца в зависимости от времени замораживания

В цементно-песчаных образцах источниками электромагнитного сигнала являются пьезосодержащие включения (речной песок) и поры. Причем основная доля электромагнитного сигнала связана с пьезоэлектрическим эффектом на кристаллах кварца, содержащихся в песке (рис. 3). Для изготовления моделей был использован песок со значительным процентным содержанием кварца. В используемом песке основу составляет α-кварц, а наличие не идентифицированных фаз составляет менее 10%.

Следовательно, параметры электромагнитного отклика чувствительны к изменениям, происходящим в композиционных материалах в условиях длительного низкотемпературного воздействия.

МОНОЛИТНАЯ GAAS – ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА БАЛАНСНОГО СМЕСИТЕЛЯ

Е.В. Саратов, студент; науч. рук. А.В. Голиков, начальник сектора СКТБ «Микроэлектроники»
ОАО «НИИПП», г. Томск, npp_board@mail.ru

В силу известных вам событий, лет 20 назад был успешно остановлен прогресс отечественной электроники вообще, и аналоговых вычислительных систем в частности. Несмотря на это, в 1995 г. после начала боевых действий в Чеченской республике возникла необходимость модернизации боевой станции радиоэлектронного противодействия Р969У, больше известной под названием «Удар». С этой целью коллективом разработчиков изготовлена партия кристаллов МСА 2010А (двойных балансных смесителей).

В составе станции ИМС успешно прошла предварительные квалификационные государственные и боевые испытания во время международных учений в 1998 г. в Казахстане.

В настоящее время МСА 2010А была модернизирована и создана ИМС МСА2012, соответствующая по своим параметрам лучшим зарубежным аналогам. На рис. 1 изображена электрическая принципиальная схема смесителя.

Большинство существующих СВЧ-смесителей выполнены в виде пассивных схем на диодах Шоттки.

Пассивность означает:

- во-первых, данные схемы не имеют внешнего источника питания;
- во-вторых, Кр подобных схем априори меньше 1.

Типичный Кр балансных диодных смесителей в одной боковой полосе составляет – 5 ÷ –8 дБ.

Схемы на трехэлектродных элементах, в нашем случае транзисторах, позволяют выполнять ту же функцию, однако потери мощности при преобразовании компенсируются расходом мощности источника питания. Кроме того, балансный диодный преобразователь частоты для нормальной работы требует сложных, а зачастую и габаритных симметрирующих цепей, что значительно усложняет его конструкцию. От этих недостатков свободна наша схема МСА2012.

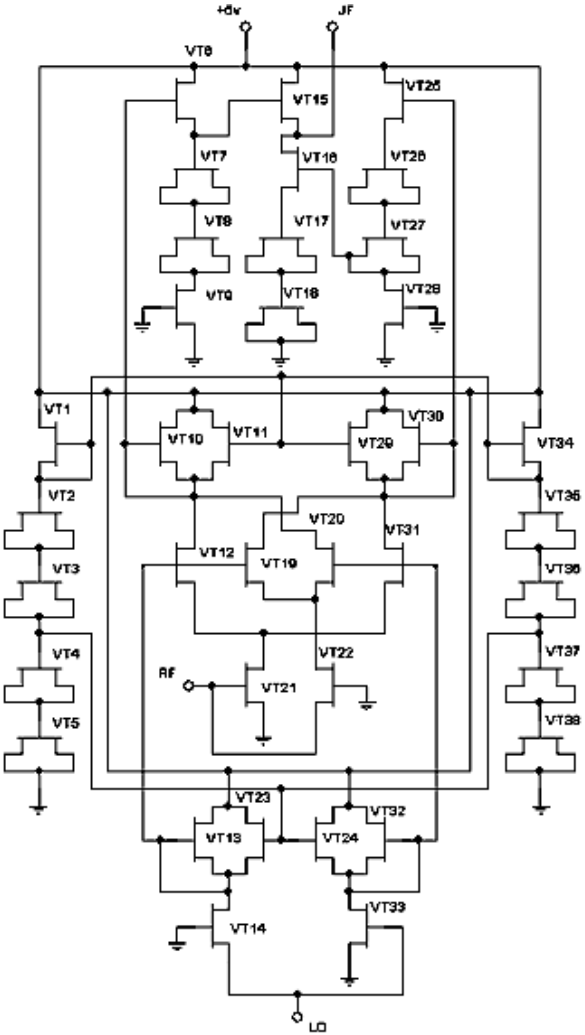


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема смесителя

Основой представленной схемы является ядро Гильберта (Джон Гильберт – американский инженер, предложивший данную схему). Как и любая балансная схема, ядро Гильберта работает с тремя парами балансных сигналов, что позволяет обеспечить их наилучшую взаимную развязку.

Поскольку реальный разработчик, как правило, имеет дело с сигналами несимметричными, в схеме предусмотрены соответствующие симметрирующие цепи. Кроме того, схема построена с учетом высокой коммерческой потребности в унифицированных изделиях с питанием 5 В. Симметрирующие цепи построены в виде двухтранзисторной комбинации ОИ–ОЗ. Это дает возможность получить противофазный сигнал, имеющий, однако, значительную степень нелинейных искажений (на рис. 1 – фазорасщепитель напряжения). Впрочем, данный недостаток не имеет существенного значения, поскольку основное ядро выполнено по балансной схеме и теоретически не чувствительно к четным гармоникам входных сигналов.

Балансные выходные токи ядра Гильберта с помощью динамических нагрузок преобразуются в балансные напряжения, опять же богатые четными гармониками, которые дискриминирует выходной противофазный сумматор. В результате на выходе получается сигнал напряжения, по форме весьма близкий к математическому ожиданию произведения входных сигналов с соответствующим положительным коэффициентом преобразования.

ИМС изготовлена по технологии металлополупроводниковых транзисторов на подложке из полуизолирующего GaAs.

Структура полупроводникового материала приведена на рисунке.

Поскольку для получения активного слоя используется эпитаксиальный рост кристалла, для блокировки дефектов подложки в качестве буферного слоя использован поликристаллический LT-слой, состоящий из чередующихся слоев материала с разной постоянной решетки, толщиной 50 нм. Активный слой имеет концентрацию $2 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$, контактный слой легирован кремнием на пределе растворимости и имеет концентрацию примерно $2 \cdot 10^{19}$ см$^{-3}$, что позволяет исключить из маршрута операцию вплавления омических контактов. Маршрут изготовления ИС – стандартный. Межоперационный контроль осуществляется по технологическим тестам, вложенным в групповую топологию пластины.

Экспериментальные данные представлены на плакате. Для проведения экспериментов кристаллы ИМС МСА2012 были смонтированы в металлостеклянный корпус типа 4305.14, для которого существует стандартная измерительная оснастка. Панель оснастки была смонтирована на печатной плате, содержащей кроме нее необходимые элементы смещения, согласования и развязки. Экспериментальные результаты приведены.

Измерительная установка включает:

- Генератор сигнала Г4-129А, работающий в полосе частот 0,1–1 ГГц с мощностью 0,1 мВт.

• Генератор опорный (гетеродин) РГ4-04 с частотой 1100 МГц и мощностью 0,5 мВт.

• Измеряемый кристалл, смонтированный в корпус 4305.14 методом ультразвуковой компрессии.

• Деплексер, представляющий комбинацию полиномиальных фильтров высокой и низкой частоты (5 порядок характеристики Чебышева).

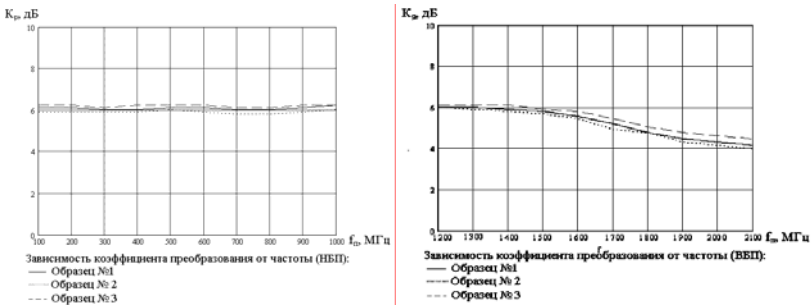
• Анализатор спектра Tektronics – 494AP и измеритель мощности Я2М – 66.

Результат эксперимента показывает:

• В НБП Кр имеет незначительные флуктуации и составляет около 6 дБ.

• В ВБП Кр монотонно спадает до 3 дБ, что связанно с наличием емкости выводов корпуса, паразитного реактивного сопротивления измерительной панели и собственными частотными свойствами ИМС МСА2012.

Измерения проводились на 3 образцах ИМС и показали удовлетворительную воспроизводимость электрических характеристик смесителя. Зависимости коэффициента преобразования K_p от частоты *f* изображены на рис. 2.



а *б*

Рис. 2. Зависимости коэффициента преобразования от частоты:
а– в нижней боковой частоте и *б*) – в верхней боковой полосе

В настоящее время наша ИМС проходит этап опытной партии, с целью освоения в серийном производстве.

Литература

1. Арсенид галлия в микроэлектронике / Под ред. Н. Айнспрука, У. Уисмена. М: 1988. 367 с.

2. *Тимонтеев В.Н., Величко Л.М., Ткаченко В.А.* Аналоговые перемножители сигналов в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Радио и связь, 1982. 112 с.

3. *Корн Т., Корн Г.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1977. 832 с.

4. *Данилина Т.И.* Преддипломная практика и дипломирование. Томск: ТУСУР, 2003. 26 с.

5. *Шур М.* Современные приборы на основе арсенида галлия. М.: Мир, 1991. 632 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОШУМЯЩЕГО ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА СВЧ-ДИАПАЗОНА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА

М.А. Кривоногова, Я.И. Сарынина, студенты 2 курса ФЭТ

ТУСУР, г. Томск, milena_89k@mail.ru

Растровая электронная микроскопия нашла широкое применение для непосредственного исследования непрозрачных объектов (массивных образцов или тонких наноразмерных пленок на подложках). С целью формирования изображения структуры материала тонкий электронный пучок (зонд) перемещается по исследуемому образцу, разворачиваясь в растр, представляющий собой систему близко расположенных линий, вдоль которых пучок проходит выбранный участок поверхности образца. В результате взаимодействия пучка с атомами твердого тела внутри зоны проникновения первичных электронов возникают отраженные и вторичные электроны, а также характеристическое и тормозное рентгеновское излучение. При этом часть электронов поглощается образцом.

В растровом электронном микроскопе (РЭМ) основные информационные сигналы создаются вторичными, отраженными и поглощенными электронами, регистрируемыми соответствующими детекторами. Усиленные сигналы используются для модулирования яркости свечения экрана, развертка луча которого синхронизирована со сканированием электронного зонда. Благодаря этому светящееся пятно на экране повторяет (в увеличенном масштабе) траекторию зонда, пробегающего строка за строкой по поверхности образца, причем яркость пятна зависит от величины сигнала. В результате на экране возникает изображение, контраст которого определяется топографией поверхности и изменениями состава.

Микроскоп ТМ-1000 предназначен для просмотра изображений образца, облучаемого сфокусированным электронным лучом. Благодаря большей глубине резкости удается получать стереоскопическое изобра-

жение. Микроскоп ТМ-1000 полезен специалистам, работающим в областях материаловедения, биологии, контроля качества, специалистов вузов и т.д.

Его параметры:

- ускоряющее напряжение: 15 кВ;
- степень увеличения: от 20 до 10000 (настройка увеличения изображения в 32 этапа);
- максимальная просматриваемая область: 3,5×3,5 мм;
- степень разрежения в электронной пушке: свыше $5 \cdot 10^{-2}$ Па;
- степень разрежения в камере для образца: около 30 ~ 50 Па;
- размеры образца: диаметр 70 мм, толщина не более 20 мм;
- тип катода: молибденовый;
- программное обеспечение: ТМ-1000.

Рис. 1. Внешний вид растрового электронного микроскопа Hitachi ТМ-1000

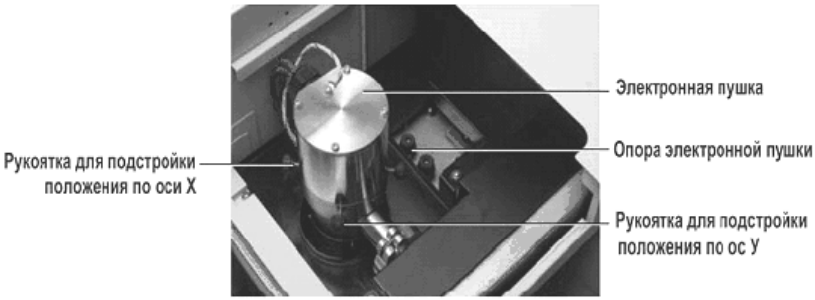


Рис. 2. Органы управления и узлы, размещенные под верхней крышкой основного блока

Растровая электронная микроскопия позволяет изучать структуру полевых транзисторов, полученных различными методами. Это позволяет оценивать качество изготовления структур.

Растровая электронная микроскопия при исследованиях материалов обычно сочетается с методами рентгеноспектрального микроанализа и катодолюминесценции (свечения мишени под действием бомбардировки электронами).

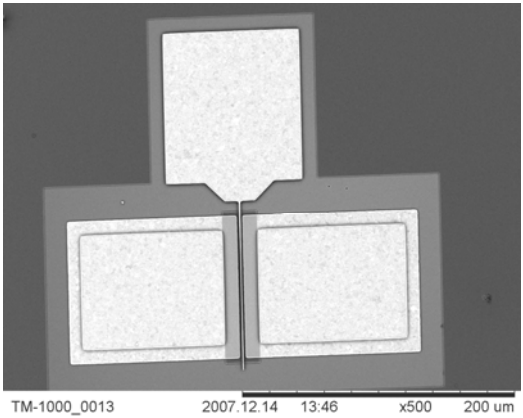


Рис. 3. Изображение полупроводникового транзистора при увеличении в 500 раз

Литература

1. *Пентин Ю.А., Вилков Л.В.* Физические методы исследования в химии. М.: Мир, 2003. 683 с.

2. *Смирнов С.В.* Методы исследования материалов и структур электроники: Учебное пособие. Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. 179 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Е.В. Саврук, студент 4-го курса ФЭТ

ТУСУР, г. Томск, savruk@mail.ru

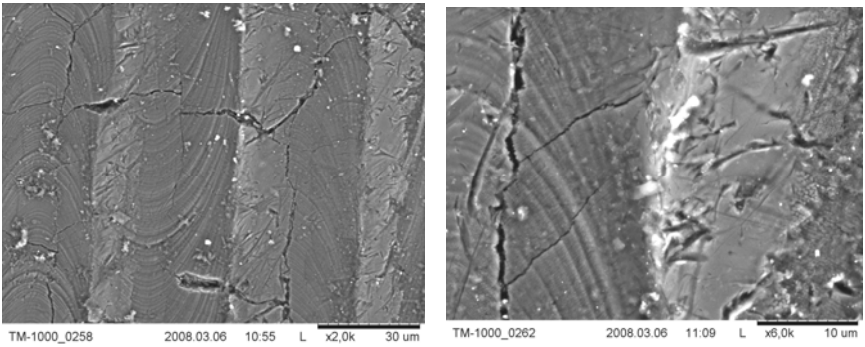
Поверхность представляет собой двумерный дефект с разорванными химическими связями, которые являются центрами адсорбции.

Хемосорбированная частица на поверхности представляет собой структурный дефект, а также центр локализации для свободного электрона решетки, служа для него ловушкой и выступая в роли акцептора

для свободного электрона. Или же данная частица является центром локализации для свободной дырки, выступая в роли донора.

Таким образом, одна и та же хемосорбированная частица на поверхности одного и того же материала выступает как акцептором (центром Льюиса), так и донором (центром Бренстеда), обладая определенным сродством, как к свободному электрону, так и к свободной дырке.

В данной работе исследовалась адсорбция пиридина на поверхности α-Al_2O_3, обработанного мощным излучением лазера ИК-диапазона на иттрий-алюминиевом гранате или углекислом газе путем сканирования луча с плотностью мощности 10^4–10^5 Вт/см^2 по поверхности со скоростью 1–10 см/с (рис. 1).



а *б*

Рис. 1. Поверхность алюмооксидной керамики, обработанной лазером:
а – при увеличении в 2000 раз; *б* – при увеличении в 6000 раз

В результате облучения в слое керамики наблюдаются значительные изменения структуры и химического состава: частичная потеря кислорода и перестройка кристаллической структуры оксида алюминия от α-Al_2O_3 к γ-Al_2O_3.

Данные изменения регистрировались рентгенофазным анализом и методами ИК-спектроскопии. Так с помощью Фурье-спектроскопа Infralum FT-801 выявлены характерные полосы кислотных центров Льюиса (1017 см$^{-1}$) и Бренстеда (1004 см$^{-1}$) на поверхности исследуемых образцов (рис. 2).

Проведенные исследования показали эффективность Фурье-спектроскопии как метода исследования наноструктуры и электронных состояний на поверхности ионных кристаллов.

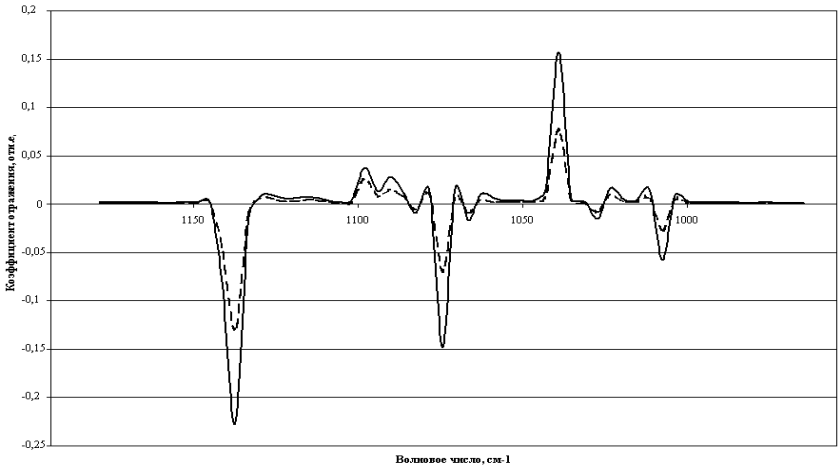


Рис. 2. ИК-спектры отражения поверхности алюмооксидной керамики после лазерной обработки

Литература

1. *Стенсел Дж.* Спектроскопия комбинационного рассеивания в катализе. М.: Мир, 1994. 254 с.

2. *Адамсон А.* Физическая химия поверхности. М.: Мир, 1979. 568 с.

3. *Киселев А.В., Лыгин В.И.* Инфракрасные спектры поверхностных соединений. М.: Наука. 1972. 456 с.

4. *Смирнов С.В., Верещагин В.И., Дворецкая Л.В.* Лазерно-химическая активация поверхности алюмооксидной керамики // Стекло и керамика. 2005. № 11.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ФУЛЛЕРЕНОВ ЭЛЕКТРОННЫМ ИСПАРЕНИЕМ И ИОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ В ВАКУУМЕ

А.П. Семенов, д.т.н., проф.; И.А. Семенова, к.т.н., А.А. Семенова*, студентка 4-го курса

Отдел физических проблем при Президиуме Бурятского научного центра СО РАН, Улан-Удэ, semenov@pres.bscnet.ru

**Бурятский государственный университет, Улан-Удэ, irene_sem@mail.ru*

Рассмотрен новый подход к получению пленок, содержащих фуллерены и элементы примеси. Возможность такого подхода экспериментально показана на примере распыления пучком ионов Ar смесей C_{60} и C_{70}, синтезированных в плазмохимическом реакторе и содержащих в

качестве примеси один из элементов: Fe, Na, B, Gd или Se. Показано нанесение пленок на поверхности ~0,1 м^2 взрывным испарением фуллеренов, сводящимся в пятно трубчатым пучком электронов при предельно высокой эффективности нагрева.

Среди известных способов получения пленок фуллеренов термическим испарением в вакууме [1–3] недостаточно изученным выглядит испарение порошка фуллеренов пучком ускоренных электронов. При этом упрощается нанесение пленок на поверхности > 1 м^2, так как электронными пучками достигаются предельно высокие удельные плотности мощности > 10^9 В/м^2. Известно образование фуллеренов при конденсации углеродного пара, находящегося в частично ионизованном состоянии [4, 5]. Причем доминирующими факторами синтеза углеродных кластеров могут выступать температура плазмы и концентрация электронов в плазме, влияющих на сечение столкновения заряженных углеродных кластеров.

Синтез исходной фуллереновой смеси проводился в плазмохимическом реакторе дугового разряда при давлении 10^5 Па [6]. Фуллереновая смесь в долевом соотношении содержала 0,8 C_{60}, 0,15 C_{70}, 0,04 высших фуллеренов и 0,01 оксидов $C_{60}O$ и $C_{70}O$.

Предлагаемое экспериментальное устройство импульсного испарения порошка фуллереновой смеси (рис. 1) содержит плазменный источник электронов [7]. Электроны испускаются плазмой магнетронного разряда с полым катодом.

Толщину пленок измеряли микроинтерферометром Линника МИИ-4. Спектры комбинационного рассеяния регистрировали на Фурье-КР-спектрометре RFS 100/S фирмы Bruker. Возбуждение спектра производилось непрерывным Ya:Nd лазером, λ = 1064 нм, мощность 10 мВт.

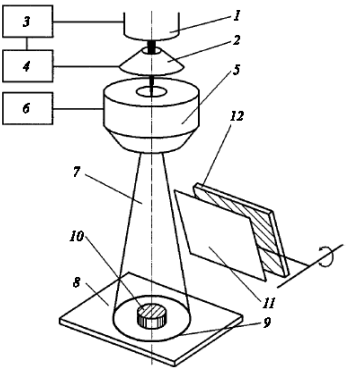


Рис. 1. Схема экспериментального устройства: *1* – плазменный источник электронов; *2* – ускоряющий электрод; *3* – источник тока разряда; *4* – высоковольтный выпрямитель; *5* – электромагнитная линза; *6* – блок управления электронным пучком; *7* – трубчатый пучок электронов; *8* – графитовый коллектор; *9* – отпечаток электронного пучка; *10* – таблетка фуллереновой смеси; *11* – заслонка; *12* – подложка

Пленки, полученные взрывным электронным испарением порошка фуллереновой смеси, имели толщину 1–2 μm и характеризовались коричневой окраской. Проведенные рентгеноструктурные исследования характеризуют пленки, наносимые при температуре подложки 300 К, как рентгеноаморфные [8]. Пленки растворяются в неполярных растворителях, что подтверждает тот факт, что испарение фуллеренов C_{60} и C_{70} происходит без разрыва С-С ковалентных связей. В спектре комбинационного рассеяния полученной пленки наблюдаются наиболее интенсивные линии фуллеренов C_{60} (495 см$^{-1}$, 1468 см$^{-1}$) и C_{70} (271 см$^{-1}$), а также широкие линии (рис. 2). Данный результат позволяет предположить, что состояние фуллеренов в пленке отличается от состояния в порошке. Вследствие малой толщины пленки большой вклад вносит связь молекул фуллерена с подложкой.

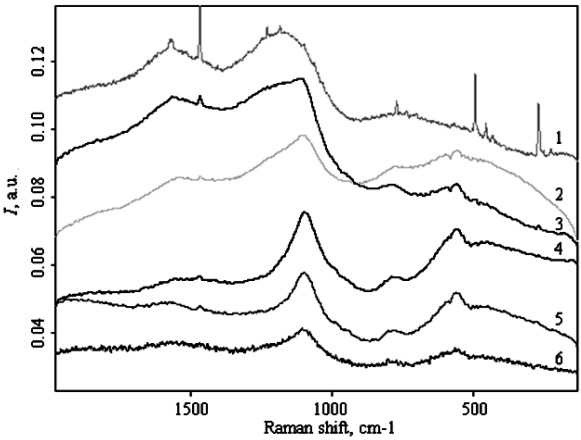


Рис. 2. Спектры комбинационного рассеяния исходной фуллереновой смеси (*1*), фуллереновых пленок, полученных взрывным электронным испарением, с примесями Gd (*2*), Fe (*3*), Si (*5*), Co (*6*) и чистой фуллереновой пленки (*4*)

Взрывным испарением порошка фуллереновой смеси при температурах испарения $>1{,}7\cdot10^3$ К, существенно превышающих температуру сублимации фуллерена $(7{,}23–7{,}73)\cdot10^2$ К, можно формировать пленки фуллеренов. Такие условия получения пленок фуллеренов впервые достигнуты при быстром сведении трубчатого пучка электронов в пятно.

На выходе задействованного в эксперименте плазменного электронного источника получены пучки электронов током > 1 А, что открывает возможность нанесения пленок фуллеренов на поверхности > 1 м^2 благодаря увеличению мощности пучка > 20 кВт и соответственно количества испаряемого порошка.

Работа выполнена при финансовой поддержке СО РАН проект № 2.7.2.2 и Фонда содействия отечественной науке.

Литература

1. *Сошников И.П., Лунев А.В., Гаевский М.Э. и др.* Особенности распыления фуллереновых пленок C_{60} при бомбардировке ионами и атомами аргона с энергией 0,1–1 keV // ЖТФ. 2000. Т. 70. В. 6. С. 98–101.

2. *Козырев С.В., Роткин В.В.* Об энергетической стабильности нанокластеров углерода // ФТП. 1993. Т. 27. В. 9. С. 1409–1411.

3. *Шпилевский Э.М., Баран Л.В., Шпилевский М.Э.* Фуллерены и фуллереноподобные структуры — основа перспективных материалов // Материалы, технологии, инструменты. 1998. Т. 3. No 2. С. 105–108.

4. *Елецкий А.В.* Новые направления в исследованиях фуллеренов // (Международная конференция по фуллеренам. Сан-Франциско, май 1994 г.) УФН. 1994. Т. 164. № 9. С. 1007–1009.

5. *Алексеев Н.И., Дюжев Г.А.* Образование фуллеренов в плазме газового разряда II. Динамика реакций между заряженными и нейтральными кластерами углерода // ЖТФ. 1999. Т. 69. В. 12. С. 42–47.

6. *Чурилов Г.Л., Федоров А.С., Новиков П.В.* Образование фуллерена C_{60} в частично ионизованном углеродном паре // Письма в ЖЭТФ. 2002. Т. 76. В. 8. С. 604–608.

7. *Семенов А.П., Семенова И.А., Булина Н.В., Чурилов Г.Н. и др.* Особенности выращивания фуллеренсодержащих тонких пленок распылением в вакууме фуллереновых смесей с B, Fe, Se, Gd и Na ионным пучком // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 23. С. 89–94.

8. *Семенов А.П., Семенова И.А., Булина Н.В., Чурилов Г.Н. и др.* Применение сводящегося в пятно трубчатого пучка электронов для получения пленок фуллеренов электронным испарением в вакууме // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 23. С. 61–67.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ

Т.Ю. Шубина, студент 4 курса ФЭТ каф. ФЭ

ТУСУР, г. Томск, ShubinaTJu@yandex.ru

Современное полупроводниковое производство интегральных схем СВЧ-диапазона базируется на планарной технологии, особенностью которой является создание групповыми методами на полупроводниковой подложке из арсенида галлия и его твердых растворов с помощью фотолитографии, эпитаксии, диффузии, напыления и других технологических процессов большого количества приборов и микросхем.

Основными элементами интегральных схем являются выпрямляющие и невыпрямляющие переходы, которые создаются с помощью контакта металл-полупроводник. Электрические параметры контакта зависят от свойств промежуточного слоя на границе раздела металл-

полупроводник, образующегося в результате структурной и химической перестройки поверхностного слоя полупроводника и образования переходной области между металлом и полупроводником. Реальная поверхность полупроводника далека от идеальной. На ней практически всегда имеют место различного рода макро- и микроскопические структурные дефекты, связанные с условиями обработки (резка, полировка, шлифовка) и рост кристалла (огранка кристалла). Кроме того, реальная поверхность полупроводника находится в постоянном контакте с окружающей средой, различного рода химическими соединениями, применяемые в качестве травителей, в результате чего на поверхности возможна адсорбция посторонних атомов и молекул из этих источников, появление окисных пленок как результат окислительно-растворительных реакций при травлении и т.д.

Природа поверхности полупроводниковых пластин во многом определяет физико-химические свойства синтезированных на ней покрытий. Свойства вещества, нанесенного на подстилающую поверхность (подложку) в виде тонких пленок, резко отличаются от свойств того же вещества в объеме образца.

Существуют различные методы исследования поверхности, адсорбированных слоев и пленок на ней, обладающие исключительно высокой чувствительностью и точностью, такие, как оже-спектроскопия, рентгеновская спектроскопия, дифракция медленных электронов, вторичная масс-спектрометрия. Современная технология предъявила к методам исследования поверхности дополнительные требования: бесконтактность, неразрушающий характер, оперативность измерения. Весьма важной является возможность автоматизации процесса измерений и его комбинирования с другими методами исследования. Указанным требованиям в значительной мере удовлетворяет эллипсометрический метод исследования.

Эллипсометрия по сравнению со многими другими методами исследования имеет ряд бесспорных преимуществ, обусловленных простотой приготовления образцов, широтой охвата исследуемых материалов.

Важной особенностью эллипсометрии является бесконтактный, неразрушающий характер исследования. Эллипсометрические измерения можно проводить в широком интервале температур исследуемого образца, в условиях агрессивной среды, высоких давлений, а также непосредственно в процессе синтеза на поверхности образца слоев различной природы.

Практические приложения эллипсометрии, демонстрирующие высокую эффективность данного метода для исследования наноструктур, можно условно разделить на следующие направления:

– определение толщины сверхтонких прозрачных слоев;

– определение толщины переходного слоя пленка-подложка;

– количественная оценка структурных свойств слоев (в частности пористости) по показателю преломления;

– исследование состава слоев по показателю преломления.

Важной проблемой при изготовлении и обработке подложек арсенида галлия является нестабильность химического состава поверхности этой подложки. На поверхности подложки всегда присутствует некоторое количество оксидной пленки, состав которой зависит от соотношения мышьяка и галлия. На поверхности арсенида галлия в основном присутствует арсенат галлия $GaAsO_4$, а на внутренней границе раздела $GaAs$ – $GaAsO_4$ имеет место некоторое обогащение элементным мышьяком. Поэтому необходимо при обработке подложки добиться минимальной толщины оксидной пленки на поверхности арсенида галлия, контролировать качество поверхности подложки арсенида галлия.

Профиль поверхности, распределение толщины оксидной пленки сглаживается по мере обработки пластин. Неровность поверхности может быть обусловлена способом обработки пластины, дефектом подложки, механическим повреждением.

В исходном состоянии поверхностный слой арсенида галлия обогащен галлием, причем отношение концентраций галлия и мышьяка зависит от условий изготовления и длительности хранения образцов. Галлий находится в окисленном состоянии, а мышьяк – как в виде окисла, так и в неокисленном состоянии.

В данной работе производилось исследование наноразмерных пленок собственного окисла на поверхности пластин арсенида галлия с помощью лазерного эллипсометра ЛЭМ-2. Толщину пленок и их показатель преломления определяли из эллипсометрических параметров с использованием приближения Люси. Результаты исследования приведены в таблице.

Результаты эксперимента

№ пластины	Концентрация, $см^{-3}$	Тип проводимости	Обработка поверхности	Δ,±1°	*d*, нм	*n*
1	$1\cdot10^{18}$	*n*	Кипячение в толуоле с протиркой в изопропиловом спирте	167	1–3	1,5
2	$1\cdot10^{18}$	*n*	Перекисно-аммиачная промывка (1:10)	165	2–11	1,6

В таблице: Δ – поляризационный угол; *d* – толщина окисла; *n* – показатель преломления.

Как следует из таблицы, толщина поверхностного слоя зависит от обработки. Чувствительность метода достаточно высока, чтобы заметить эти различия.

Метод лазерной эллипсометрии может быть рекомендован для контроля качества обработки пластин.

Литература

1. *Громов В.К.* Введение в эллипсометрию. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1986. 192 с.

2. *Шалимова К.В.* Физика полупроводников. М.: Энергия, 1976. 489 с.

3. *Луфт Б.Д., Перевощиков В.А., Возмилова Л.Н.* Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников. М.: Радио и связь, 1982. 136 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ДИОКСИДА КРЕМНИЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

К.В. Тепляков, студент 5-го курса

ТУСУР, г. Томск, Rjcnz-nuts@mail.ru

На сегодняшний день пленки двуокиси кремния находят достаточно широкое применение в производстве полупроводниковых приборов. Одними из наиболее перспективных является создание на их основе ненакаливаемых источников электронов, датчиков давления, активных элементов управления жидкокристаллическими экранами.

Предпосылкой изучения данных пленок послужили полученные в лабораториях кафедры ФЭ пленки двуокиси кремния, которые обладали особыми свойствами, такими как локальная люминесценция, эмиссия электронов, повышение проводимости в МДМ-структурах. В пленках, полученных в лучших условиях, таких явлений не наблюдалось. На основании данных результатов было сделано предположение, что эти особые свойства обусловлены примесью углерода, привносимой в пленку парами масла, проникающими в камеру от паромасляного насоса.

Исходя из всего вышеуказанного, целью данной работы было исследование возможностей контроля содержания примеси углерода в пленке диоксида кремния. Для этого был использован спектрофотометрический метод исследования. Данный метод основан на регистрации поглощения электромагнитного светового излучения разных длин волн веществом, причем получаемые спектры несут информацию о составе вещества. Все спектры снимались на спектрофотометре СФ-56.

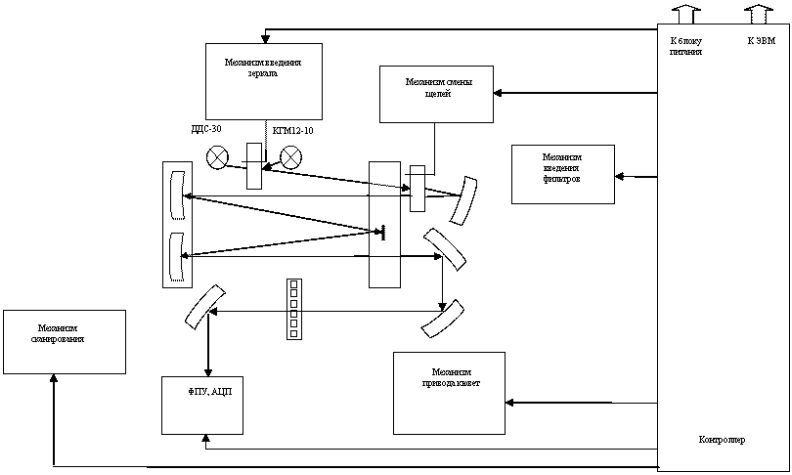


Рис. 1. Схема работы спектрофотометра СФ-56

Присутствие чистого углерода или его соединений предполагалось находить по изменению спектров пропускания. Для определения изменений, привносимых примесью углерода, были сняты спектры пропускания чистой кварцевой подложки, подложки с напыленной на нее пленкой диоксида кремния и подложкой с пленкой диоксида кремния, полученной ионным распылением двуслойной мишени из углерода и кремния.

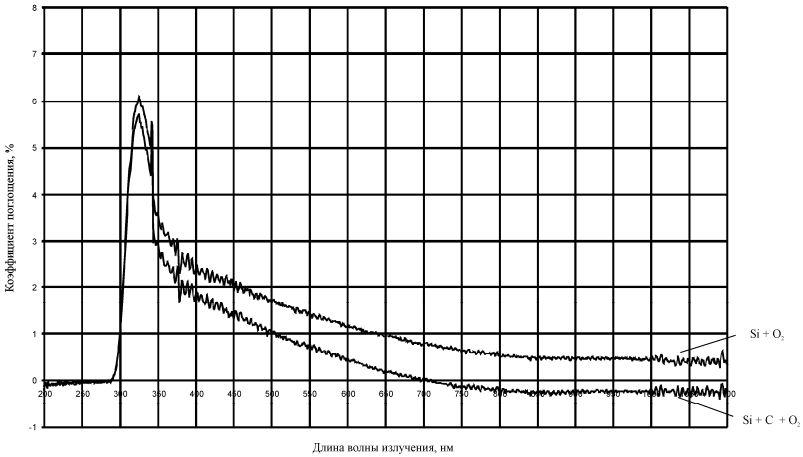


Рис. 2. Спектры поглощения пленок чистого диоксида кремния и диоксида кремния с углеродом, полученные в среде чистого кислорода

В процессе работы были проведены исследования пленок, полученные в средах кислорода и смеси кислорода и аргона (90% – O_2, 10% – Ar), целью которого является определение лучшего получения пленок.

Для определения изменений, вносимых углеродом, были рассчитаны изменения спектров поглощения двух пленок, полученных в одной среде. В результате вычислений были получены данные, представленные на рис. 4.

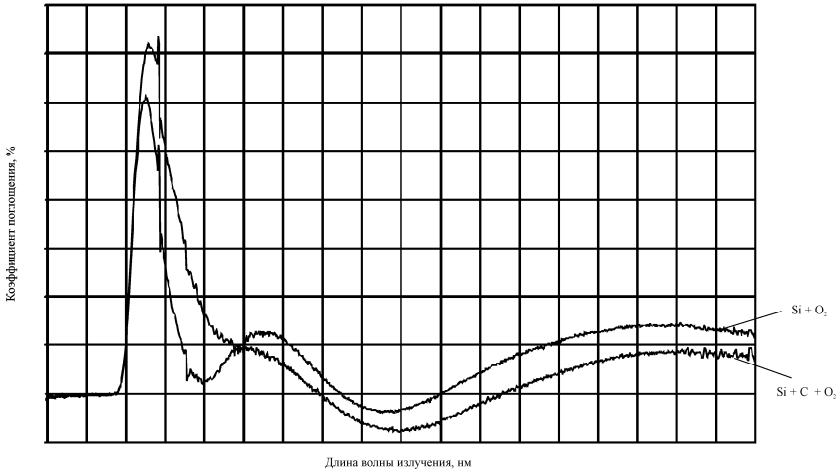


Рис. 3. Спектры поглощения пленок чистого диоксида кремния и диоксида кремния с углеродом, полученные в среде кислорода и аргона (90% – O_2, 10% – Ar)

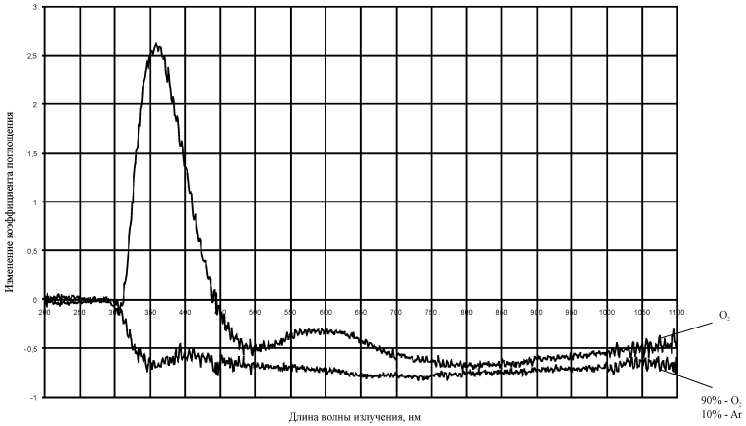


Рис. 4. Изменения в спектрах поглощения пленок двуокиси кремния, полученные в разных средах

В результате проведения всех исследований было обнаружено следующее:

1. Подложка из кварцевого стекла не пропускает излучение с длиной волны до 300 нм.

2. Из полученных спектров определить наличие примесей или атомов углерода в пленке не удалось, поскольку характерная длина волны поглощения в соединении Si-C находится в диапазоне длин волн полностью поглощаемых подложкой (примерно 250 нм).

Данная работа не является законченной. Для дальнейших исследований необходимо использовать подложки, которые не поглощали бы излучение с длиной волны менее 300 нм.

Литература

1. *Троян П.Е.* Электрическая формовка тонкопленочных структур металл–диэлектрик–металл в сильных электрических полях. Томск, 2003. 178с.

2. *Крейнина Г.С.* Вольт-амперные характеристики катодов структур металл–диэлектрическая пленка–металл // Радиотехника и электроника. 1964. Т. 9. № 11.

3. *Смит А.* Прикладная ИК-спектроскопия. М.: МИР, 1982.

ВЛИЯНИЕ АДСОРБЦИИ КИСЛОРОДА НА ПРОВОДИМОСТЬ ФОРМОВАННЫХ МДМ – НАНОСТРУКТУР

С.П. Усов, аспирант

ТУСУР, г. Томск, Ser-u@mail.ru

Формованные структуры металл–диэлектрик–металл (МДМ) обладают вольт-амперной характеристикой с отрицательным дифференциальным сопротивлением *N*-типа, при измерении их в вакууме. Механизм электропроводности таких структур предполагает наличие компоненты тоже связанной с адсорбцией на поверхности формованных каналов различных газов из окружающей атмосферы.

В данной работе представлены результаты по исследованию адсорбции кислорода на проводимость МДМ-структур.

Исследования проводились на структурах Al – SiO_2 – Al, нанесенных на коаксиальный остеклованный ввод (рис. 1). Толщина диэлектрического слоя SiO_2 составляет 50 нм, толщина верхнего электрода из Al 10–15 нм.

Измерения проводились в вакуумной камере с остаточным давлением 10^{-5} мм. рт. ст. Напуск кислорода в камеру проводился через игольчатый натекатель. Давление кислорода в рабочей камере изменялось от атмосферного до 10^{-4} мм. рт. ст.

На рис. 2 представлены ВАХ сквозного тока для формованных МДМ-структур при различных давлениях кислорода.

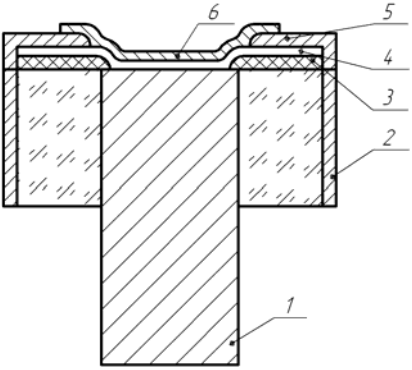


Рис. 1. Экспериментальная структура. *1* – Нижний электрод из Mo; *2* – внешний цилиндр, являющийся контактом к верхнему электроду; *3* – защитный слой SiO_2; *4* – рабочий диэлектрик SiO_2; *5* – контактный электрод; *6* – верхний электрод

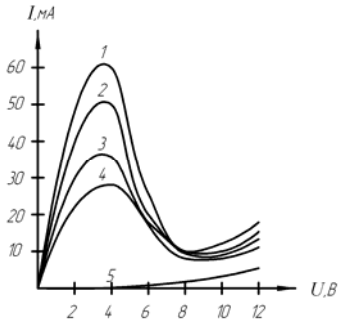


Рис. 2. ВАХ сквозного тока формованных структур Mo – SiO_2 – Al при различных давлениях кислорода: *1* – 10^{-5} мм. рт. ст., *2* – 10^{-4} мм. рт. ст., *3* – 10^{-3} мм. рт. ст., *4* – 10^{-2} мм. рт. ст., *5* – атмосферное давление

Из результатов видно, что при напуске кислорода в вакуумную камеру наблюдается достаточно сильное уменьшение тока, соответствующее максимальному ВАХ, и менее значительное снижение проводимости на участке при $U > U_{min}$ (U_{min} – напряжение, соответствующее минимуму на ВАХ сквозного тока). Эти данные позволяют предполагать, что ток формованных структур состоит как минимум из двух компонент – тока, связанного с адсорбцией газов остаточной атмосферы в каналах повышенной проводимости, и компоненты тока, не обусловленного адсорбцией.

При напуске кислорода до уровня атмосферного давления *N*-образный участок на ВАХ исчезает, т.е. можно говорить о том, что кислород подавляет проводимость на участке отрицательные сопротивления. Механизм подавления наиболее вероятно обусловлен тем, что, адсорбируясь в формованных каналах, кислород создает отрицательный заряд, препятствующий протеканию тока.

После откачки вакуумной камеры, после напуска кислорода до давления 10^{-5} мм. рт. ст. проводимость структур восстанавливается.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ЗАТВОРА ПТШ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА

А.Ю. Ющенко, студент 6-го курса ТУСУР
ОАО «НИИ ПП», г. Томск, davinagaz@rambler.ru

Введение

Основным активным элементом современных монолитных интегральных схем, работающих в СВЧ-диапазоне является полевой транзистор с затвором Шоттки (ПТШ) на GaAs [1]. Размеры затвора определяют основные характеристики транзистора. Длина затвора влияет на крутизну, частотные и шумовые параметры прибора, а от его сечения зависят шумовые и усилительные свойства [2, 3]. Определение линейных размеров менее 1 мкм с помощью обычных микроскопов представляет собой серьезную проблему, что связано с фундаментальными ограничениями оптики. На сегодняшний день в производстве ПТШ на арсениде галлия используют технологии, позволяющие получить длину затвора менее 0,5 мкм. Невозможность оценки этих размеров с помощью микроскопов приводит к появлению других методов измерения. Возможно определение длины затвора по его емкости, однако этот метод не всегда дает верный результат из-за невозможности учета всех паразитных емкостей. Современным инструментом измерения длины затвора является метод электронной микроскопии.

Цель данной работы заключалась в разработке методики определения размеров затвора с помощью электронного микроскопа.

Методика эксперимента

Был разработан метод, в котором длина затвора определялась по емкости специальных тестовых структур. Эти данные сравнивались с результатами измерений на электронном микроскопе. Установлено, что в случае сложной формы сечения затвора результаты измерений методов не совпадают. Это связано с тем, что в первом методе не удается корректно оценить все краевые эффекты. Это и послужило причиной для более детального изучения геометрии затвора.

С помощью электронного микроскопа детально исследовалась форма сечения затвора, а затем рассчитывалась его емкость. Фотографии делались с помощью электронного микроскопа Hitachi TM-1000. Для получения фотографий затвора исследуемый образец устанавливался перпендикулярно плоскости держателя. Образцы изготавливали путем откалывания пластины GaAs, на которой сформированы ПТШ (скол делается поперек затвора). Эта операция проводилась в жидком азоте, так как при низких температурах сама подложка и металл, находящийся на ней, становятся хрупкими. Затем полученный образец крепился к держа-

телю при помощи вакуумной смазки. Использование специальной вакуумной смазки обусловлено наличием высокого вакуума (10^{-5} Па) в рабочей камере микроскопа.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Результаты проведенных в настоящей работе экспериментов (рис. 1, 2) показывают, что длина затворов у транзисторов составляет 0,3 мкм. По рельефу маски (рис. 1), сформированному с помощью электронной литографии, хорошо видно, каким должно быть сечение затвора. Маска электронного резиста почти прозрачна для данного электронного микроскопа, поэтому для получения контрастного изображения поверх нее был нанесен тонкий слой золота.

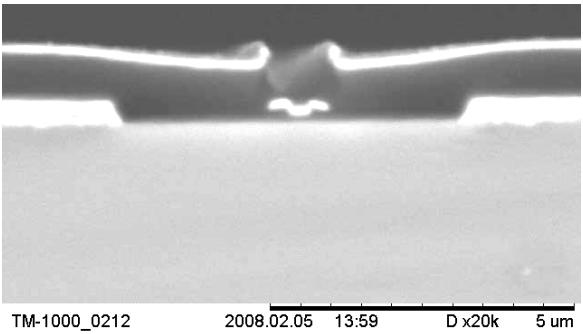


Рис. 1. Сечение маски (фотография сделана с помощью электронного микроскопа)

На фотографии поперечного сечения транзистора (рис. 2) хорошо виден затвор, нижняя его часть выполнена из титана (темная область), верхняя из золота (светлая область).

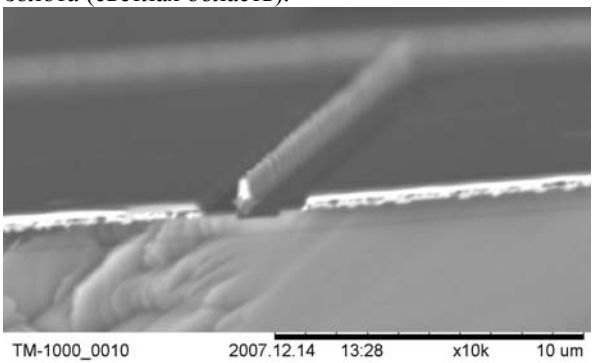


Рис. 2. Поперечное сечение транзисторной структуры (фотография сделана с помощью электронного микроскопа)

Анализ реальной формы затвора показал необходимость введения поправки при измерении емкости затвора, так как сформированный затвор имеет «крылья», которые и вносят дополнительную погрешность при измерении его длины емкостным методом. Для контроля длины затвора при серийном производстве транзисторов метод электронной микроскопии неприемлем, так как он является разрушающим. Для универсального применения емкостного метода необходимо набрать более полную статистику.

Заключение

Результаты проделанной работы показали, что по снимкам настольного электронного микроскопа Hitachi TM-1000 с достаточной точностью можно определять размеры затворов ПТШ. Недостоверность результатов емкостного метода можно объяснить значительным вкладом от неучтенной емкости «шапки» Т-образного затвора. Серьезным недостатком метода электронной микроскопии для определения размеров затвора является необходимость скола пластин, что не всегда возможно.

Литература

1. *Гусева Л.* Монолитные арсенидгаллиевые ИС. Может, они, наконец, станут реальностью? // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука. Технология. Бизнес. 2000. № 5. С. 30–36.

2. *Шур М.* Современные приборы на основе арсенида галлия: Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 632 с.

3. *Fukui H.* Design of Microwave GaAs MESFET's for Broad-Band Low-Noise Amplifiers // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol. MTT-27. Pp. 643–650. July 1979.

МОНОЛИТНАЯ GAAS ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА ПРЕДУСИЛИТЕЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Д.В. Захаров, студент 5-го курса

ТУСУР, г. Томск, den_zhrv@mail.ru

На сегодняшний день актуальным является вопрос увеличения часов наработки микроэлектронных устройств. Вероятность отказа устройства определяется количеством элементов, монтируемых на плату и вероятностью отказа одного элемента. Чем из большего количества дискретных элементов состоит микроэлектронная сборка, тем выше вероятность ее отказа и снижено количество часов наработки устройства. Особенно остро этот вопрос стоит в радиолокации. Поэтому было принято решение разработать монолитную интегральную схему предусилителя промежуточной частоты с коэффициентом усиления 20 дБ в задан-

ной полосе частот для его использования в канале фазометрии в радиолокации, которая собой заменит десяток дискретных элементов.

Задача сведена к тому, чтобы разработать схему электрическую принципиальную (рис. 1) и спроектировать топологию МИС под технологию изготовления МИС на GaAs в ОАО «НИИПП».

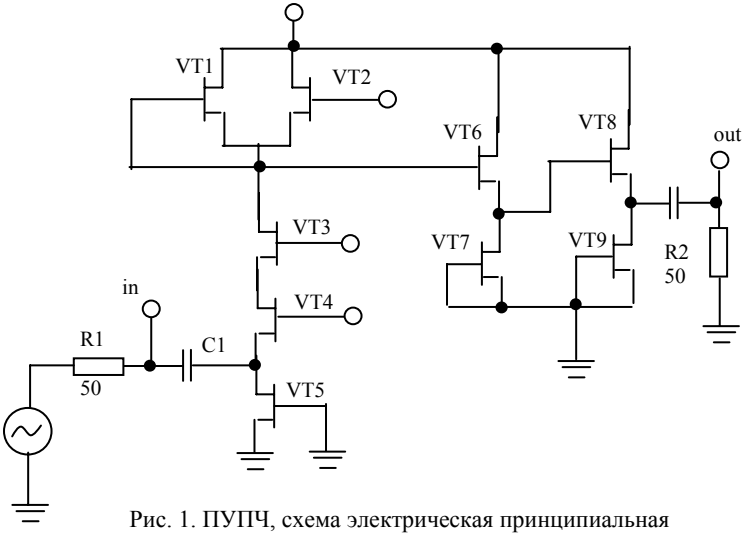


Рис. 1. ПУПЧ, схема электрическая принципиальная

Усилительный каскад питается генератором тока, выполненным на транзисторе VT5 с общей шириной канала 80 мкм. Транзистор VT4 с общей шириной канала 320 мкм, включенный по схеме с общим затвором, осуществляет функции активного согласования с источником сигнала в широкой полосе частот и трансформацию мощности входного сигнала в выходной ток (ток стока).

Транзистор VT3 с общей шириной затвора 80 мкм транслирует ток стока транзистора VT4 с коэффициентом единица в нагрузку; при этом значение паразитной емкости затвор – сток снижается в 4 раза, а рабочая полоса частот расширяется.

Нагрузкой усилительного каскада является динамическая пара транзисторов VT1 и VT2, один из которых (VT1) с общей шириной затвора 75 мкм осуществляет сброс тока в источник питания, а второй (VT2) с общей шириной затвора 5 мкм является собственно имитатором резистивной нагрузки каскада. Таким образом, обеспечивается усиление входного сигнала. Крутизна транзисторов VT2 и VT4 подобрана таким образом, чтобы обеспечить усиление на 26 дБ.

Для согласования с низкоомной нагрузкой служит усилитель мощности, выполненный на транзисторах VT6 – VT9. Блочное построение

структуры связано с необходимостью сохранить полосу пропускания усилительного каскада за счет оптимизации емкости нагрузки (нагрузкой для усилительного каскада является емкость затвор – сток транзистора VT6 (VT8)). На нагрузке 50 Ом выходной буфер имеет потери 6 дБ, что в совокупности с усилением напряжения первым каскадом (26 дБ) дает общее усиление 20 дБ на согласованную нагрузку в заданной полосе частот.

Проектирование схемы проведено в программном пакете OrCad. Смоделированная передаточная характеристика схемы приведена на рис. 2.

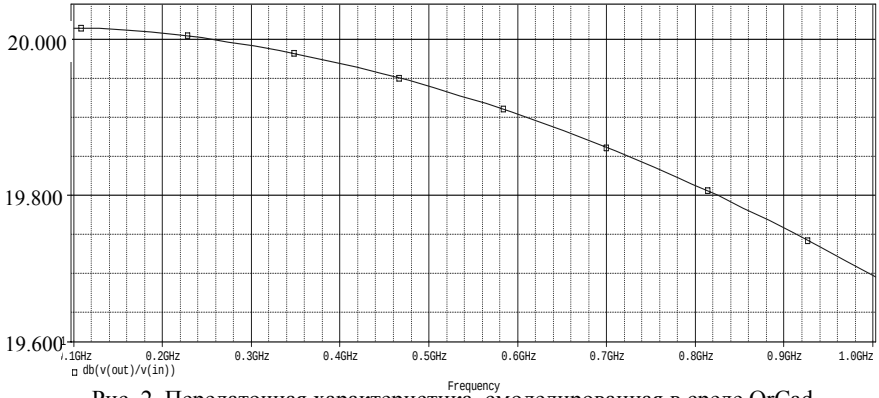


Рис. 2. Передаточная характеристика, смоделированная в среде OrCad

В рамках работы также разработан комплект фотошаблонов для реализации МИС согласно представленной принципиальной схемы по GaAs технологии.

На момент написания статьи получены первые образцы кристаллов МИС ПУПЧ. Их измерение и тестирование еще не проводились.

Литература

1. *Айнспрук Ред. Н., Уисмен У.* Арсенид галлий в микроэлектронике. М.: 1988. 367 с.

2. *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов. Т. 1.: Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 468 с.

3. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники. Т. 1, 2. М.: Мир, 1983. 1190 с.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Е.П. Ворошилина, В.И. Тисленко
ОСОБЕННОСТЬ АЛГОРИТМОВ СОПРОВОЖДЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ПЕРЕОТРАЖЕНИЙ 11

А.А. Андреев, В.И. Ефанов
ИЗМЕРЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ИЗОТРОПНО ИЗЛУЧАЕМОЙ МОЩНОСТИ (Э.И.И.М.) ПО НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ 14

Д.Б. Аюров, Д.Г. Буянова, Ю.Б. Башкуев
ВАРИАЦИИ СНЧ-ОНЧ СПЕКТРОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА DEMETER 16

А.А. Бызов, А.А. Голубых, А.С. Лясота, С.В. Мелихов
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ КООРДИНАТ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА НА ДИСПЛЕЕ ЭВМ ПРИ СЧИТЫВАНИИ ДАННЫХ С GPS-ПРИЕМНИКА 20

А.А. Дмитриев; Т.Б. Жемердеева; Л.В. Козиенко, Ю.Б. Башкуев, В.Б. Хаптанов
РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОРАДАРНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ СПАССКОЙ ЦЕРКВИ В г. ИРКУТСКЕ 24

А.С. Вершинин, А.А. Будаев, А.А. Мещеряков
УСТАНОВКА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ 27

П.В. Полюхович, Б.П. Дудко
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ 30

В.А. Громов
ЭФФЕКТИВНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ РАССЕЯНИЯ САМОЛЕТОВ ПРИ ДВУХПОЗИЦИОННОЙ БАРЬЕРНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ 32

В.А. Шилов
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА 36

СЕКЦИЯ 2

ЗАЩИЩЕННЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Н.Г. Булахов, В.Т. Калайда
ОБНАРУЖЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ЧЕРВЕЙ. СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ 39

СЕКЦИЯ 3

АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, БЫТОВАЯ РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА И СЕРВИС

С.Н. Белоносова, А.М. Заболоцкий
ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 42

И.Г. Бевзенко, А.М. Заболоцкий
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОДУЛЯ РАЗНОСТИ ПОГОННЫХ ЗАДЕРЖЕК В ТРЕХПРОВОДНЫХ СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ 45

Р.Е. Чириков, И.С. Костарев
ОБЗОР ПРОГРАММ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 48

Е.В. Дмитриченко
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ НА ЧЕТЫРЕ ДЛЯ ПЛАНАРНОЙ АНТЕННЫ 50

К.С. Дмитриенко
АЛГОРИТМ СЖАТИЯ JPEG 52

И.М. Добуш, К.С. Дмитриенко, С.П. Куксенко
КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРПУСА С ЩЕЛЯМИ 54

А.М. Заболоцкий, Е.С. Долганов
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКОГО ПЕЧАТНОГО КАБЕЛЯ В СИСТЕМЕ TALGAT 57

Т.Т. Газизов
КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 60

Е.Н. Грибов, И.А. Кузнецов
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ БУЛЬБАРНОЙ КОНЪЮНКТИВЫ 63

И.В. Григорьев, А. Васин
ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ 66

Э.К. Исабеков, С.П. Куксенко
ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 68

А.Р. Колчева
КАСКАД РЕГУЛИРОВКИ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ 71

С.Т. Сивцев, С.П. Куксенко
ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ СЛАУ ИТЕРАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ 74

К.Н. Лаптев, С.П. Куксенко
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ КЛАСТЕРОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ 77

О.С. Матасова, Ю.Р. Кирпиченко
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ..... 80

СЕКЦИЯ 4
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИООБОРУДОВАНИЯ

ПОДСЕКЦИЯ 4.1
ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИОМЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ

А.В. Авраменко, А.В. Дорофеев, В.О. Трусов
СИСТЕМА ПОИСКА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ: МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ 83

А.В. Авраменко, А.И. Гринченко, И.О. Архипов
ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ 86

Е.В. Бугров, А.А. Бомбизов
АППАРАТЫ СВЕТОТЕРАПИИ 87

В.А. Молошников, А.А. Манжос, Е.В. Казак, Е.К. Интемиров
УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ МЕТОДОМ ШНОЛЯ 94

ПОДСЕКЦИЯ 4.2
КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

А.А. Бомбизов, А.С. Губков, А.Ф. Пустовойт
МАКЕТ АВТОНОМНОГО СПЕКТРОАНАЛИЗАТОРА 97

А.А. Беспалько, П.И. Федотов, Н.Н. Хорсов, А.А. Бомбизов, А.Г. Лощилов, Н.Д. Малютин, А.Ф. Пустовойт
ПОЛЕВОЙ АВТОНОМНЫЙ РЕГИСТРАТОР ДЛЯ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ШАХТ 100

Н.Н. Кривин
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ УСИЛИТЕЛЯ С НЕЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ 104

А.А. Ладур
МИКРОПОЛОСКОВЫЕ РЕШЕТЧАТЫЕ СВЧ-ФИЛЬТРЫ ВЫСОКОЙ СЕЛЕКТИВНОСТИ 106

А.О. Мисюнас, А.В. Убайчин, А.В. Филатов
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ
ДЛЯ МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОМЕТРА РМ1420 111

К.А. Мутасов
КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ..... 116

А.С. Мягков, Т.А. Номоконова, Е.В. Масалов
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ
СИГНАЛА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ РЛС 119

А.П. Павлов, А.Ф. Пустовойт
ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ МОДУЛЬНОГО
ТИПА ГСПФ-250 122

А.В.Пепеляев, В.Н.Татаринов
АНТЕННАЯ РЕШЕТКА КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ 125

В.В. Тимофеев
ВЛИЯНИЕ ТИПИЧНЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
НА КАЧЕСТВО СОГЛАСОВАНИЯ АНТЕННО-ФИДЕРНОГО
УСТРОЙСТВА С РАДИОПЕРЕДАЮЩИМ АППАРАТОМ 128

СЕКЦИЯ 5

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

С.М. Алферов
АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДИНАМИКИ РОБОТА 131

А.П. Макрушин
ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИДАРНОГО ГАЗОАНАЛИЗА..... 134

А.В. Басов, А.В. Емельяненко, Д.В. Аникин, Я.А. Хамаганов
ОБЗОР МЕТОДИК ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ВИДЕОПОТОКА
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ 135

Р.И. Гааг, И.С. Калганов, О.Б. Фофанов
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АСПЕКТ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦТИЗАЦИИ «СТАРТ» 138

Я.А. Хамаганов, А.В. Басов, А.В. Емельяненко, Д.В. Аникин
МЕТОДИКА МЕДИЦИНСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА ВИДЕОПОТОКА..... 141

Д.Н. Клименко
STS – SIMPLE TRADE SOLUTION – 3DROOM 144

К.А. Князев
ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЧТЕНИЯ БАЗЫ NETCDF..... 145

С.В. Корытников
РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДАННЫХ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ 146

А.С. Котов
АЛГОРИТМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛИЦ
НА ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ 148

Н.В. Ковалев
УМЕНЬШЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ВЫХОДЕ ДЕКОДЕРА MPEG2 150

О.А. Кривцов
СИСТЕМА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГОЛОВЫ
НА ВИДЕОКАДРАХ 151

П.А. Пяк, Д.И. Кузнецов, Р.И. Уколов, М.Ю. Катаев
ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА УДАЛЕННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА 154

А.В. Лежанкин
ПОДСИСТЕМА АРХИВИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ
МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА 155

А.В. Лончин, А.Г. Чугунов, К.А. Князев, А.П. Макрушин, А.Е. Наймушин
ПРОГРАММНЫЙ СИМУЛЯТОР САМОЛЕТНОГО
МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОМЕТРА 157

А.К. Лукьянов
АЛГОРИТМЫ ИНДЕКСАЦИИ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ 160

М.Н. Макрушин
МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗЕМНОГО РЕЛЬЕФА
НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ SRTM И GLCC 162

А.Е. Наймушин
ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕТА САМОЛЕТА
В 3D ПРОСТРАНСТВЕ. 164

Прищепа М.С.
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА
ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ БЮРО КРЕДИТНЫХ ИСТОРИЙ .. 167

Е.М. Винник, С.Ю. Хегай, Д.А. Сущенко
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ДАННЫМИ MODIS И
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ 169

СЕКЦИЯ 6
КВАНТОВАЯ, ОПТИЧЕСКАЯ И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Д.Н. Хатьков, Н.Д. Хатьков
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ МУФТ УЗЛА
ШАРИКОПОДШИПНИКА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МЕТОДА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ 171

Д.Н. Хатьков, Н.Д. Хатьков
ПОИСК ТРЕЩИНООБРАЗНЫХ ДЕФЕКТОВ В МАССИВНЫХ ТЕЛАХ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ЛОКАЛЬНЫХ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ 174

М.Ю. Аверкина, Н.С. Басько, Е.С. Гриднева
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СПЕКТРАЛЬНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В КРИСТАЛЛЕ BSO 176

А.А. Колегов, В.С. Беликов, В.Г. Сибагатулина
ЗАПИСЬ ФОТОРЕФРАКТИВНОЙ РЕШЕТКИ В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА СРЕЗА [100] В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕЙ НЕКОГЕРЕНТНОЙ ПОДСВЕТКИ 178

А.А. Ащеулова, С.А. Давыдов, К.А. Крицкая, А.Н. Парханюк, Е.А. Пешкова, С.В. Сандаков
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ФОТОННЫХ РЕШЕТОК В НИОБАТЕ ЛИТИЯ 181

В.И. Ефанов, В.И. Петров
О ЗАТУХАНИИ СВЕТА НА МИКРОИЗГИБАХ В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ 184

А.А. Ефанов, А.А. Колегов
ДВУХВОЛНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛЬНОГО ПУЧКА 189

С.В. Егоров, В.Г. Миргород, П.В. Чернов, В.И. Ефанов
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ «ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ» 192

О.С. Фадеева, В.М. Шандаров
ОПТИЧЕСКОЕ ИНДУЦИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ТРАНСПАРАНТОВ НА ОСНОВЕ ФОТОРЕФРАКТИВНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО ... 195

А.В. Гусев, В.М. Шандаров
КАНАЛЬНЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ СТРУКТУРЫ, ОПТИЧЕСКИ ИДНУЦИРОВАННЫЕ ПРОЕКЦИОННЫМ МЕТОДОМ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ 197

В.И. Иткин Т.Н. Дудик, О.В. Позак, М.С. Ивасенко
ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА, ЛЕГИРОВАННОМ МЕДЬЮ..... 200

А.С. Лапоухов, И.Н. Агишев
ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ РЕШЕТОК В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА СВЕТОВЫМИ ПУЧКАМИ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ 203

В.Г. Миргород, С.Н. Шарангович
АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОННЫХ СТРУКТУР В ФОТОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ С УЧЕТОМ ФОТОИНДУЦИРОВАННЫХ ЭФФЕКТОВ 206

В.Г. Миргород, И.С. Тонышева, Л.А. Кузьмина,
Е.Б. Пучинина, С.Н. Шарангович
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ С КУБИЧЕСКОЙ СИММЕТРИЕЙ В ПОГЛОЩАЮЩИХ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ 209

А.С. Лыков, Е.С. Черкашин, Б.Ф. Ноздреватых, С.В. Устюжанин,
С. Н. Шарангович
ДИФРАКЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НЕОДНОРОДНОЙ ФПМ-ЖК ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ С УЧЕТОМ СТАТИСТИКИ ЖК МОЛЕКУЛ 212

В.Н. Терещенко, С.С. Шмаков, А.Е. Мандель
НАВЕДЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В ЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ ТИТАНАТА ВИСМУТА 215

Круглов воткнула

СЕКЦИЯ 7
ФИЗИЧЕСКАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

А.В. Барков, А.С. Климов
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА ДИЭЛЕКТРИКОВ 210

В.С. Бузырев, В.В. Сохорева
ТРЕКОВАЯ МЕМБРАНА КАК ТЕМПЛЕЙТНЫЙ ШАБЛОН ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАНООСТРИЙНЫХ КРЕМНИЕВЫХ КАТОДОВ 222

М.Н. Цибульский
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ОБРАЗЦОВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ 225

С.В. Двойников
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАСТОЯНИЯ ЗАТВОР–СТОК НА ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ В ПТШ 227

С.В. Ишуткин, К.С. Носаева, Е.В. Ерофеев
ВЛИЯНИЕ ХАЛЬКОГЕНИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ GaAs НА ПАРАМЕТРЫ БАРЬЕРНЫХ КОНТАКТОВ Ti/Au 229

Д.Л. Кайгородов, А.В. Медовник
ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО ПОКРЫТИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ ИСПАРЕНИЕМ ГРАФИТА 231

Д.И. Короченко
ФОРМИРОВАНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ И НАНОАЛМАЗОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ КРЕМНИЕВОЙ МИШЕНИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ 234

К.С. Носаева, С.В. Ишуткин, Е.В. Ерофеев
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ AUGENI 236

К.Ю. Осипов, Н.А. Чернов
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛЕГИРОВАНИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ GAAS ЦИНКОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ 239

В.Н. Павлов, С.И. Арестов, С.И. Горбачев
СЧЕТЧИК ДОЗЫ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ 243

Д.М. Разамбаев
МЕХАНОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ 245

Е.В. Саратов, А.В. Голиков
МОНОЛИТНАЯ GaAs – ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА БАЛАНСНОГО СМЕСИТЕЛЯ 248

М.А. Кривоногова, Я.И. Сарынина
ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОШУМЯЩЕГО ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА СВЧ-ДИАПАЗОНА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА 252

Е.В. Саврук
ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ 254

А.П. Семенов, И.А. Семенова, А.А. Семенова
ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ФУЛЛЕРЕНОВ ЭЛЕКТРОННЫМ ИСПАРЕНИЕМ И ИОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ В ВАКУУМЕ 256

Т.Ю. Шубина
ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ 259

К.В. Тепляков
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ДИОКСИДА КРЕМНИЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ 262

С.П. Усов
ВЛИЯНИЕ АДСОРБЦИИ КИСЛОРОДА НА ПРОВОДИМОСТЬ ФОРМОВАННЫХ МДМ – НАНОСТРУКТУР 265

А.Ю. Ющенко
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ЗАТВОРА ПТШ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА 267

Д.В. Захаров
МОНОЛИТНАЯ GaAs ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА ПРЕДУСИЛИТЕЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ 269

Научное издание

Научная сессия ТУСУР-2008

Материалы
Всероссийской научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
5–8 мая 2008 г., Томск, Россия
В пяти частях

Часть 1

Корректор – **И.Ю. Васильева**
Верстка **В.М. Бочкаревой**
Дизайн обложки **В. Глушко**

Издательство «В-Спектр».
Сдано на верстку 01.04.2008. Подписано к печати 25.04.2008.
Формат $60\times84^{1}/_{16}$. Печать трафаретная.
Печ. л. 17,5. Усл. печ. 16,45.
Тираж 200 экз. Заказ 11.

Тираж отпечатан в издательстве «В-Спектр».
ИНН/КПП 7017129340/701701001, ОГРН 1057002637768
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24, Тел. 49-09-91.
E-mail: bmwm@list.ru