Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2009

Материалы докладов
Всероссийской научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
12–15 мая 2009 г.

В пяти частях

Часть 1

В-Спектр
Томск 2009

УДК 621.37/.39+681.518 (063)
ББК 32.84я431+32.988я431
Н-34

Н-34 Научная сессия ТУСУР–2009: Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 12–15 мая 2009 г.: В пяти частях. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2009. – 328 с.

ISBN 978-5-91191-103-4
ISBN 978-5-91191-104-1 (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.

Для студентов, аспирантов, технических работников.

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

ISBN 978-5-91191-103-4
ISBN 978-5-91191-104-1 (Ч. 1)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2009

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

Всероссийская научно-техническая конференция студентов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2009» 12–15 мая 2009 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., начальник НУ ТУСУР, д.т.н., профессор
- Казьмин Г.П., председатель комитета инновационной деятельности администрации г. Томска, представитель Фонда содействия развитию МФП в НТС по Томской обл., 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., проф. каф. ТОР НГТУ, д.т.н., профессор, г. Новосибирск
- Лукин В.П., директор отд. распространения волн Ин-та оптики атмосферы СО РАН, почетный член Американского оптического общества, д.ф.-м.н., профессор, г. Томск
- Кориков А.М. – зав. каф. АСУ ТУСУР, заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор
- Пустынский И.Н., зав. каф. ТУ ТУСУР, заслуженный деятель науки и техники РФ, д.т.н., профессор
- Акулиничев Ю.П., председатель совета по НИРС РТФ ТУСУР, д.т.н., профессор. каф. РТС

- 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
- Шарыгин Г.С., зав. каф. РТС ТУСУР, д.т.н., профессор
- Голиков А.М., доцент каф. РТС ТУСУР, к.т.н.
- Пустынский И.Н., зав. каф. ТУ ТУСУР, д.т.н., профессор
- Еханин С.Г., проф. каф. КУДР ТУСУР, председатель совета по НИРС РКФ, д.ф.-м.н.
- Лощилов А.Г., м.н.с. каф. ТОР ТУСУР, к.т.н.
- Катаев М.Ю., профессор каф. АСУ ТУСУР, д.т.н.
- Шарангович С.Н., зав. каф. СВЧ и КР ТУСУР, к.ф.-м.н.
- Троян П.Е., зав. каф. ФЭ ТУСУР, д.т.н., профессор
- Ходашинский И.А., проф. каф. АОИ ТУСУР, д.т.н.
- Давыдова Е.М., ст. преп. каф. КИБЭВС ТУСУР, к.т.н.
- Коцубинский В.П., зам. зав. каф. КСУП ТУСУР, председатель совета по НИРС ФВС, к.т.н.
- Титов А.А., проф. каф. РЗИ ТУСУР, д.т.н.
- Шелупанов А.А., зав. каф. КИБЭВС ТУСУР, д.т.н., профессор
- Светлаков А.А., зав. каф. ИИТ ТУСУР, д.т.н., профессор
- Михальченко Г.Я., проф. каф. ПрЭ ТУСУР, д.т.н.
- Мицель А.А., зам. зав. каф. АСУ ТУСУР, председатель совета по НИРС ФСУ, д.т.н., профессор
- Осипов Ю.М., зав. отд. каф. ЮНЕСКО при ТУСУР, академик Международной академии информатизации, д.э.н., д.т.н., профессор
- Семиглазов А.М., профессор каф. ТУ ТУСУР, д.т.н.
- Карташов А.Г., профессор каф. РЭТЭМ ТУСУР, д.б.н.
- Суслова Т.И., декан ГФ ТУСУР, зав. каф. КС, д.ф.н., профессор
- Грик Н.А., зав. каф. ИСР ТУСУР, д.ист.н., профессор
- Дмитриев В.М., зав. каф. ТОЭ ТУСУР, д.т.н., профессор
- Пуговкин А.В., зав. каф. ТОР ТУСУР, д.т.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.
- Куташова Е.А. – секретарь оргкомитета, инженер ОППО ТУСУР, к.х.н.

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1. Радиотехнические системы и распространение радиоволн. Председатель секции – Шарыгин Герман Сергеевич, зав. каф. РТС, д.т.н., профессор; зам. председателя – Тисленко В.И., к.т.н., доцент каф. РТС

Секция 2. Защищенные телекоммуникационные системы. Председатель секции – Голиков А.М., к.т.н., доцент каф. РТС

Секция 3. Аудиовизуальная техника, бытовая радиоэлектронная аппаратура и сервис. Председатель секции – Пустынский Иван Николаевич, зав. каф. ТУ, д.т.н., профессор; зам. председателя – Костевич Анатолий Геннадьевич, к.т.н., доцент каф. ТУ

Секция 4. Проектирование биомедицинской аппаратуры. Председатель секции – Еханин Сергей Георгиевич, д.ф.-м.н., профессор КУДР

Секция 5. Конструирование и технологии радиоэлектронных средств. Председатель секции – Лощилов Антон Геннадьевич, м.н.с. каф. ТОР, к.т.н.; зам. председателя – Бомбизов Александр Александрович, инженер НИИ ЭТОСС

Секция 6. Интегрированные информационно-управляющие системы. Председатель секции – Катаев Михаил Юрьевич, д.т.н., проф. каф. АСУ; зам. председателя – Бойченко Иван Валентинович, к.т.н., доцент каф. АСУ

Секция 7. Оптические информационные технологии, нанофотоника и оптоэлектроника. Председатель секции – Шарангович Сергей Николаевич, зав. каф. СВЧ и КР, к.ф.-м.н., доцент; зам. председателя – Буримов Николай Иванович, к.т.н., доцент каф. ЭП

Секция 8. Физическая и плазменная электроника. Председатель секции – Троян Павел Ефимович, зав. каф. ФЭ, д.т.н., профессор

Секция 9. Распределенные информационные технологии и системы. Председатель секции – 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 10. Вычислительный интеллект. Председатель секции – Ходашинский Илья Александрович, д.т.н., проф. каф. АОИ; зам. председателя – Лавыгина Анна Владимировна, ст. преподаватель каф. АОИ

Секция 11. Автоматизация технологических процессов. Председатель секции – Давыдова Елена Михайловна, к.т.н., доцент каф. КИБЭВС; зам. председателя – Зыков Дмитрий Дмитриевич, к.т.н., доцент каф. КИБЭВС

Секция 12. Аппаратно-программные средства в системах управления и проектирования. Председатель секции – 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 12.1. Интеллектуальные системы проектирования технических устройств. Председатель подсекции – Черкашин Михаил Владимирович, к.т.н., доцент каф. КСУП

Подсекция 12.2. Адаптация математических моделей для имитации сложных технических систем. Председатель подсекции – Коцубинский Владислав Петрович, к.т.н., доцент каф. КСУП

Подсекция 12.3. Инструментальные средства поддержки сложного процесса. Председатель подсекции – Хабибулина Надежда Юрьевна, к.т.н., доцент каф. КСУП

Подсекция 12.4. Методы стереоскопической визуализации. Председатель подсекции – Дорофеев Сергей Юрьевич, аспирант каф. КСУП.

Секция 13. Радиотехника. Председатель секции – Титов Александр Анатольевич, д.т.н., профессор каф. РЗИ; зам. председателя – Семенов Эдуард Валерьевич, к.т.н., доцент каф. РЗИ

Секция 14. Методы и системы защиты информации. Информационная безопасность. Председатель секции – Шелупанов Александр Александрович, зав. каф. КИБЭВС, д.т.н., профессор; зам. председателя – Мещеряков Роман Валерьевич, к.т.н., доц. каф. КИБЭВС

Секция 15. Информационно-измерительные приборы и устройства. Председатель секции – Светлаков Анатолий Антонович, д.т.н., профессор каф. ЭСАУ; зам. председателя – Шидловский Виктор Станиславович, к.т.н., доцент каф. ИИТ

Секция 16. Промышленная электроника. Председатель секции – Михальченко Геннадий Яковлевич, д.т.н., профессор каф. ПрЭ; зам. председателя – Семенов Валерий Дмитриевич, зам. зав. каф. ПрЭ по НР, к.т.н., доцент

Секция 17. Математическое моделирование в технике, экономике и менеджменте. Председатель секции – Мицель Артур Александрович, д.т.н., профессор каф. АСУ; зам. председателя – Зариковская Наталья Вячеславовна, к.ф.-м.н., доцент каф. ФЭ

Подсекция 17.1. Моделирование в естественных и технических науках. Председатель подсекции – Зариковская Наталья Вячеславовна, к.ф.-м.н., доцент каф. ФЭ

Подсекция 17.2. Моделирование, имитация и оптимизация в экономике. Председатель подсекции – Мицель Артур Александрович, д.т.н., профессор каф. АСУ; зам. председателя – Ефремова Елена Александровна, к.т.н., доцент каф. АСУ

Секция 18. Экономика и управление. Председатель секции – Осипов Юрий Мирзоевич, зав. каф. ЮНЕСКО, д.э.н., д.т.н., профессор; зам. председателя – Васильковская Наталия Борисовна, к.э.н., доцент каф. экономики

Секция 19. Антикризисное управление. Председатель секции – Семиглазов Анатолий Михайлович, д.т.н., профессор каф. ТУ; зам. председателя – Бут Олеся Анатольевна, ассистент каф. ТУ

Секция 20. Экология и мониторинг окружающей среды. Председатель секции – Карташев Александр Георгиевич, д.б.н., профессор каф. РЭТЭМ; зам. председателя – Смолина Татьяна Владимировна, ст. пр. каф. РЭТЭМ

Секция 21. Социокультурные проблемы современности. Председатель секции – Суслова Татьяна Ивановна, декан ГФ., зав. каф. КС, д.ф.н., профессор; зам. председателя – Грик Николай Антонович, зав. каф. ИСР, д.ист.н., профессор

Подсекция 21.1. Актуальные проблемы социальной работы в современном обществе. Председатель подсекции – Грик Николай Антонович, зав. каф. ИСР, д.ист.н., профессор; зам. председателя – Казакевич Людмила Ивановна, к.ист.н., доцент каф. ИСР

Подсекция 21.2. Философские проблемы инженерно-технического знания. Председатель подсекции – Московченко Александр Дмитриевич, зав. каф. философии, д.ф.н., профессор; зам. председателя – Раитина Маргарита Юрьевна, к.ф.н., доцент каф. философии

Подсекция 21.3. Социально-философские проблемы современности. Председатель подсекции – Суслова Татьяна Ивановна, декан ГФ., зав. каф. КС, д.ф.н., профессор; зам. председателя – Захарова Лилия Леонидовна, доцент каф. КС, к.ф.н.

Секция 22. Инновационные проекты, студенческие идеи и проекты. Председатель секции – Уваров Александр Фавстович, к.э.н.; зам. председателя – Чекчеева Наталья Валерьевна, зам. директора студенческого бизнес-инкубатора (СБИ), к.э.н.

Секция 23. Автоматизация управления в технике и образовании. Председатель секции – Дмитриев Вячеслав Михайлович, зав. каф. ТОЭ, д.т.н., профессор; зам. председателя – Андреев Михаил Иванович, к.т.н., доцент ВКИЭМ

Секция 24. Проектная деятельность школьников в сфере информационно-коммуникационных технологий. Председатель секции – Татьяна Борисовна Корнеева, заместитель директора по методической работе ОЦ «Школьный университет»; зам. председателя – Нехорошева Юлия Геннадьевна, начальник учебно-методического отдела ОЦ «Школьный университет»

Секция 25. Системы и сети электро- и радиосвязи. Председатель секции – Пуговкин Алексей Викторович, зав. каф. ТОР, д.т.н., профессор; зам. председателя – Демидов Анатолий Яковлевич, к.т.н., доцент каф. ТОР

Секция 26. Проектирование и эксплуатация радиоэлектронных средств. Председатель секции – Шостак Аркадий Степанович, д.т.н., профессор каф. КИПР; зам. председателя – Озеркин Денис Витальевич, к.т.н., доцент каф. КИПР

Адрес оргкомитета:

634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 40, ГОУ ВПО «ТУСУР»,
Научное управление (НУ), к. 205
Тел.: 8-(3822)-701-524, 701-582
E-mail: eak@main.tusur.ru

Материалы научных докладов,

представленные на конференцию, опубликованы в сборнике

«НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2009»

в пяти частях

1-я часть сборника включает доклады 1–7-й секций;

2-я часть – доклады 8–10-й и 12-й секций;

3-я часть – доклады 11-й и 14-й секций;

4-я часть – доклады 13-й, 15–17-й секций;

5-я часть – доклады 18–26-й секций.

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*

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ АНТЕННЫ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ПЕЛЕНГОВАНИЯ АМПЛИТУДНЫМ ПЕЛЕНГАТОРОМ

А.С. Аникин, студент 5-го курса, В.П. Денисов, проф.
ТУСУР, г. Томск, т. 8-906-957-95-83, waxs@sibsmail.ru

Приведены экспериментальные оценки точности пеленгования импульсного источника излучения на короткой наземной трассе моноимпульсным амплитудным пеленгатором со слабонаправленными антеннами.

Целью данной работы является представление результатов пеленгования источника излучения при различных углах ориентации антенны передатчика относительно трассы в присутствии отражателей.

Амплитудные пеленгаторы находят широкое применение в службах радиоконтроля [1, 2]. В настоящей работе рассматриваются полученные экспериментальным путем ошибки пеленгования моноимпульсного амплитудного пеленгатора при использовании равносигнального метода. Были использованы три варианта антенного датчика пеленгатора, соответствующие применению пары спиральных (СЭ), логопериодических (ЛПЭ) и рупорных (РЭ) слабонаправленных малогабаритных элементов [3, 4]. Приемная аппаратура, использованная в эксперименте, описана в [3]. В качестве источника излучения использовалась импульсная РЛС с рабочей частотой 9,5 ГГц, длительностью импульса τ = 0,5 мкс, наклонной поляризацией (45°) и шириной диаграммы направленности (ДН) по уровню половинной мощности $\theta_{0,5}$ = 10°. Антенна источника излучения была расположена на высоте 3 м от уровня земли, а антенны пеленгатора – на высоте 1,3 м.

Эксперимент проводился на местности, которая представляла собой поле, покрытое травой высотой до 1 м. По обе стороны от трассы на расстоянии около 50 м располагались лесополосы, деревья которых выступали как отражатели радиоволн. Протяженность трассы составляла 315 м.

Пеленгование источника излучения было выполнено при четырех положениях ДН его антенны в горизонтальной плоскости Θ относительно направления «передатчик–приемник»: 0, 18, 36 и 54°, отсчитываемых по часовой стрелке.

При каждом положении ДН антенны передатчика в месте приема проводились три измерения реальной пеленгационной характеристики $f(\alpha)=\ln U_1-\ln U_2$, где U_1, U_2 – амплитуда сигналов в каналах пеленгатора. Отсчет пеленга α производился по положению середины равносигнальной зоны при отстройке по шкале градусов. Среднеквадратическая погрешность пеленгования рассчитывалась как $\sigma=\sqrt{\sigma_1^2+\sigma_2^2}$, где σ_1 – среднеквадратическое отклонение указанных трех измерений, σ_2 – среднеквадратическое отклонение реальной пеленгационной характеристики вдоль оси пеленга от прямой на квазилинейном участке.

Квазилинейный участок пеленгационной характеристики составлял ±20° относительно равносигнального направления при использовании СЭ и ЛПЭ, и ±15° – при использовании РЭ. В табл. 1 приведены средние значения оценок пеленга, в табл. 2 – рассчитанные среднеквадратические отклонения.

Таблица 1

Смещение оценки пеленга

Θ, град	Среднее значение оценки пеленга относительно направления на источник излучения, град		
	ЛПЭ	РЭ	СЭ
0	0	0	0
18	–7,5	–7,6	–7,4
36	–23,4	–16,9	–15,3
54	–2,4	–3,9	–0,5

Таблица 2

Среднеквадратическая ошибка пеленгования

Θ, град	Среднеквадратическая ошибка пеленгования σ, град		
	ЛПЭ	РЭ	СЭ
0	1,2	0,5	1,2
18	1,9	1,2	1,9
36	4,3	3,6	3,6
54	2,8	2,3	3,1

Из табл. 1 видно, что с отклонением антенны источника излучения от линии трассы измеряемый пеленг смещается в сторону откло-

нения. Смещение пеленга слабо зависит от типа антенн, его величина достигает десятков градусов.

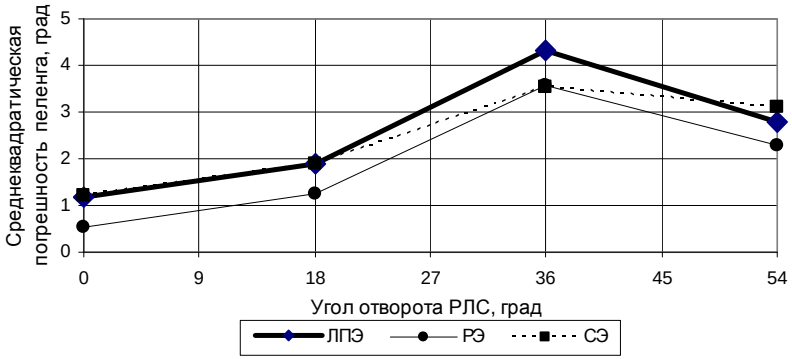


Рис. 1. Зависимость среднеквадратической погрешности пеленгования источника излучения от Θ

Случайная составляющая ошибки пеленгования имеет тенденцию к увеличению при отклонении ДН антенны передатчика от направления «передатчик–приемник» и достигает единиц градусов (рис. 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. «Радиомониторинг. Задачи, методы, средства». М.: Горячая линия – телеком, 2006.

2. Комплекс портативных пеленгаторных антенн SCAN. – www.bnti.ru.

3. Куприц В.Ю., Мещеряков А.А. Ошибки пеленгования амплитудным пеленгатором со слабонаправленными антенными элементами // Научно-техническая конференция «Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем»: Сборник докладов. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008.

4. Куприц В.Ю., Мещеряков А.А., Аникин А.С. Экспериментальная оценка точности пеленгаторов с малогабаритными антеннами, находящимися у поверхности Земли // Труды XV Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» (RLNC-2009). Воронеж, 2009.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ

В.С. Беликов, Ф.Н. Захаров, А.А. Васильев, студенты 3-го курса РТФ
г. Томск, ТУСУР, geksogen@sibmail.com

Из литературных источников известно, что основным методом расчета ожидаемых характеристик электромагнитного поля над неровной земной поверхностью в современных системах прогнозирования является численное решение волнового уравнения параболического типа.

Стандартное параболическое уравнение (ПУ) описывает лишь волны, распространяющиеся вперед под малыми углами β (не более 10…15°) по отношению к направлению оси *Ox*. Метод численного решения ПУ является наиболее универсальным и наиболее точным в большинстве ситуаций.

Наиболее применяемыми на данный момент являются метод преобразования Фурье и схема Кранка–Николсона. Метод преобразования Фурье позволяет проводить решение в частотной области, при этом используется решение исходного непрерывного ПУ на одном шаге по дальности. Схема Кранка–Николсона позволяет проводить расчет поля в пространственной области путем решения разностного уравнения.

Основной недостаток схемы Кранка–Николсона – относительно невысокая точность, хотя модуль коэффициента передачи для этой схемы равен единице. Требуемой точности можно добиться, уменьшая шаг по высоте (Δz) или увеличивая порядок разностных уравнений.

Целью данной работы является исследование точности численного решения волнового уравнения параболического типа при увеличении порядка разностных уравнений.

Задача численного решения параболического уравнения сеточным методом формально сводится к задаче линейной цифровой фильтрации отсчетов комплексной огибающей поля.

При исследовании точности схемы Кранка–Николсона использовалась однородная среда ($\tilde{\varepsilon}(x,z)=0$), в качестве источника излучения – элементарный источник, в качестве эталона – точное решение непрерывного ПУ в свободном пространстве.

Фазочастотная характеристика (ФЧХ) фильтра, осуществляющего точное решение ПУ на одном шаге (эталон), равна

$$\varphi_0(\beta)=\arg\left(\exp\left(-\frac{i\cdot k\cdot\beta^2\cdot\Delta x}{2}\right)\right),\ |\beta|<\beta_{\max}, \qquad (1)$$

где $k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$ – волновое число; β – угол распространения; Δx – шаг по дальности.

ФЧХ для трехточечной схемы Кранка–Николсона имеет вид

$$\varphi_3(\beta) = \arg\left(\frac{1 + 2g \cdot (1 - \cos(\beta \cdot k \cdot \Delta z))}{1 + 2g^* \cdot (1 - \cos(\beta \cdot k \cdot \Delta z))}\right), |B| < B_{\max}, \qquad (2)$$

где Δz – шаг по высоте; g и g^* – весовые коэффициенты.

Необходимо отметить, что $|K(B)| = |K_o(B)| = 1$, поэтому отличия характеристик этих двух фильтров обусловлены исключительно различием их фазочастотных характеристик.

Для увеличения точности численного решения параболического волнового уравнения был увеличен порядок разностных уравнений до пяти. При этом были найдены соответствующие весовые коэффициенты g_0, g_1, g_2, g_0^*, g_1^*, g_2^*.

ФЧХ для пятиточечной разностной схемы имеет вид

$$\varphi_5(B) = \arg\left(\frac{g_0 + g_1 \cdot \cos(\beta \cdot k \cdot \Delta z) + g_2 \cdot \cos(\beta \cdot k \cdot \Delta z)}{g_0^* + g_1^* \cdot \cos(\beta \cdot k \cdot \Delta z) + g_2^* \cdot \cos(\beta \cdot k \cdot \Delta z)}\right). \qquad (3)$$

На рис. 1 представлены графики ФЧХ идеального фильтра, трехточечной и пятиточечной разностных схем.

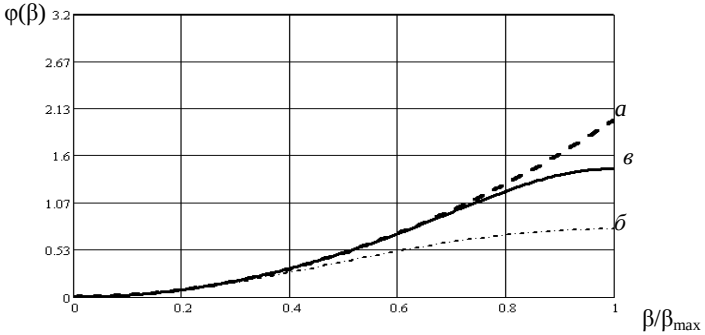


Рис. 1. Сравнение ФЧХ идеального фильтра (*а*), трехточечной схемы (*б*) и пятиточечной схемы (*в*)

Из рис. 1 видно, что расхождения ФЧХ с эталонной у трехточечной схемы начинается гораздо раньше, чем у пятиточечной, что говорит о том, что увеличение количества расчетных точек приводит к увеличению точности прогнозирования характеристик поля в пространстве при распространении.

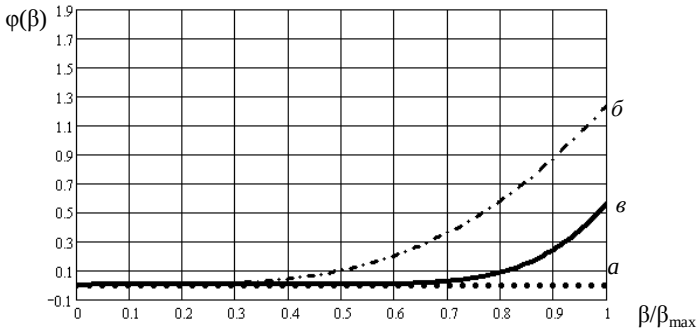


Рис. 2. Разность между ФЧХ эталонной и разностной схемой: *а* – для эталонной схемы; *б* – для трехточечной схемы; *в* – для пятиточечной схемы

На рис. 2 изображена зависимость разности ФЧХ разностных схем и идеальной ФЧХ. Видно, что отклонения от идеальной ФЧХ для трехточечной схемы начинаются при достаточно малых углах, по сравнению с пятиточечной схемой. Следовательно, можно сказать, что, увеличив порядок разностных уравнений, можно достигнуть значительно большей точности решения волнового уравнения параболического типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулиничев Ю.П. Факторизация передаточной функции последовательно-составного канала со случайно изменяющимися параметрами // Радиотехника и электроника. 1978. Т. 23, № 2. С. 448–451.

2. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1971. 553 с.

3. Самарский А.А. Введение в численные методы: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1987. 286 с.

4. Оппенгейм А.В., Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов. М.: Связь, 1979. 417 с.

5. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. 4-е изд. М.: Связь, 1972. 336 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ

А.А. Будаев, студент 5-го курса каф. РТС,
А.А. Мещеряков, к.т.н., с.н.с. НИИ РТС
г. Томск, ТУСУР, bozon@sibmail.com

В настоящее время существует широкая сеть искусственных спутников Земли (ИСЗ) осуществляющих зондирование земной по-

верхности с использованием как радиотехнических, так и оптических методов. На сегодняшний момент ИСЗ мониторинг молниевых разрядов радиотехническими методами не производят. Однако потребность в системах, с помощью которых можно производить мониторинг гроз на больших территориях в режиме реального времени, имеется. Поэтому разработка и создание такой системы на сегодня актуальны.

Разряд молнии представляет собой импульс положительной полярности, после которого следует всплеск отрицательной полярности. Длительность импульса находится в пределах долей секунды, напряженность поля на расстояниях 10–30 км от молнии доходит до единиц вольт на метр. Спектр такого сигнала сплошной и широкий, наибольшая его интенсивность лежит в области 5–15 кГц и простирается до частоты 800 МГц. Интенсивность на этом участке спектра мала. Осциллограмма типичного молниевого сигнала представлена на рис. 1 [1]. Прием такого сигнала на борту ИСЗ затруднителен вследствие того, что через ионосферу проходит только высокочастотная составляющая сигнала от 100 МГц и выше.

Исходя из условия радиопрозрачности ионосферы и произведенного расчета уровня сигнала молниевого разряда, принятого на борту ИСЗ, выбора высоты орбит, конфигурации группировки спутников задача обнаружения молниевых разрядов может быть успешно решена.

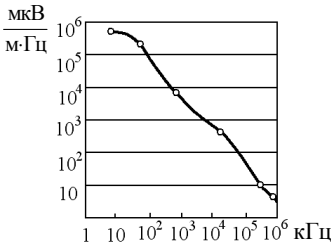


Рис. 1. Спектр типового молниевого сигнала

Высота орбиты напрямую связана с периодом обращения спутника: чем ниже высота, тем меньше период обращения спутника вокруг Земли и время обзора данного участка территории планеты. Для охвата территории РФ с непрерывным мониторингом ее поверхности требуется 4 спутника по одному на орбите с наклонением орбит 90° и высотой, равной 2000 км.

Для регистрации используется аппаратура, которая объединяет различные устройства определения местоположения молниевых разрядов. Функциональная схема аппаратуры представлена на рис. 2.

Бортовая аппаратура включает в себя следующие устройства:

1) Амплитудный пеленгатор сигнала молниевых разрядов.
2) Разностно-дальномерную систему.
3) Оптический обнаружитель молний.

Амплитудный пеленгатор использует моноимпульсный метод и включает в себя многолучевую зеркальную антенну, создающую три независимых перекрывающихся луча.

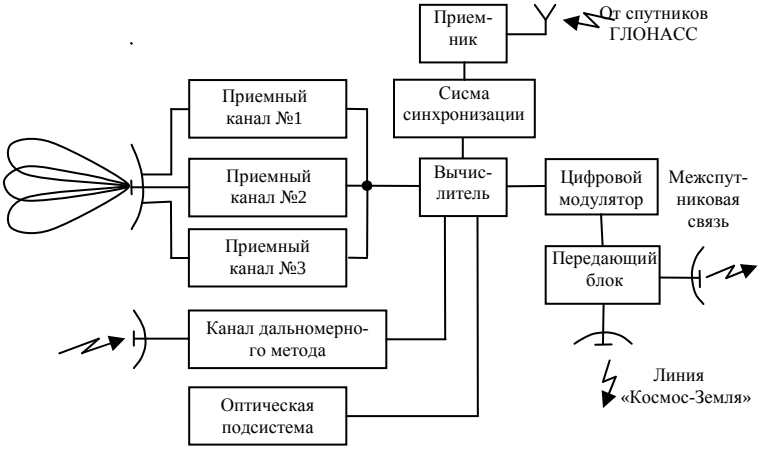


Рис. 2. Функциональная схема приеморегистрирующей аппаратуры

Разностно-дальномерная система работает в составе группировки спутников и использует разностно-дальномерный метод определения местоположения источника сигнала.

С помощью оптической системы определяется направление на источник света, возникающий вследствие молниевой вспышки.

Вычислительное устройство обрабатывает данные, полученные от трех подсистем, вычисляет местоположение грозовых метеообразований. Информация транслируется в наземный пункт приема и сбора информации в разрешенном для связи на линии «Космос – Земля» диапазоне (2170–2200 МГц) с помощью передающего блока и направленной антенны.

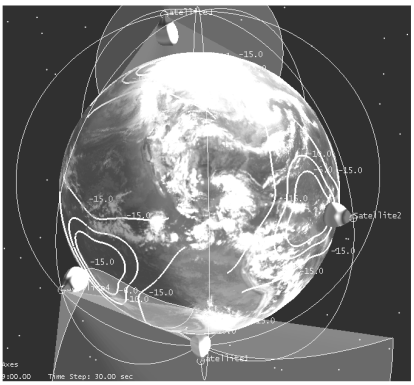


Рис. 3. Площадь покрытия каждого из спутников и конфигурация орбит

Синхронизация работы группировки спутников обеспечивается сигналами спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS [2].

Расчет спутниковой группировки производился в инженерном пакете STK v6.0. В процессе моделирования были получены данные, позволяющие имитировать работу спутниковой системы мониторинга грозовых образований. Группировка спутников представлена на рис. 3.

На рис. 3 отображены орбиты спутников Земли, зоны покрытия антенн амплитудных пеленгаторов по уровням –15, –10, –6 дБ относительно максимального уровня диаграмм направленности антенн.

Для проектируемой системы зона покрытия по уровню –10 дБ составляет 5400 км^2.

Таким образом, разработанная спутниковая система грозопеленгации позволит проводить мониторинг грозовой обстановки над всей территорией Российской Федерации в режиме реального времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бару Н.В., Кононов И.И., Соломоник М.Е. Радиопеленагторы-дальномеры. Л.: Гидрометеоиздат, 1976.

2. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. М., 2005.

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ ФУНКЦИЙ В СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ РАДИОВЕЩАНИЯ И СВЯЗИ

Н.В. Демаков[1], А.В. Кузовников[1], А.Е. Пашков[1], аспиранты;
В.А. Кураков[2], доцент
г. Красноярск, ОАО ИСС[1]; ТУСУР[2], ujub@list.ru

Прогресс в области создания новых образцов элементной базы радиоэлектронных устройств привел к тому, что для реализации стали доступны методы, которые ранее считались труднореализуемыми.

Для решения задач радиовещания и связи в спутниковых системах широкое применение находят новые методы модуляции и кодирования. Это обусловлено ограниченной энергетикой космического аппарата. Методы кодирования [1] позволяют снизить отношение сигнал / шум на входе приемника до 2–5 дБ, при котором осуществляются уверенный прием и демодуляция входного сигнала. Однако при более низком отношении сигнал / шум вероятность ошибки резко возрастает, что делает невозможным прием и демодуляцию входного сигнала. В данной работе предлагается метод обработки сигнала при предельно низком отношении сигнал / шум (порядка 0 дБ), основанный на фильтрации с помощью вейвлет-преобразования [2].

В алгоритме Маллата быстрого вейвлет-преобразования (БВП) при переходе с масштабного уровня m на уровень $m + 1$ функция аппроксимирующих коэффициентов cm, k разделяется на низкочастотную ($cm + 1, k$) и высокочастотную ($dm + 1, k$) части спектрального диапазона, и при дальнейшем увеличении масштабных уровней анало-

гичному разложению последовательно подвергаются только низкочастотные функции (аппроксимирующие). В пакетном алгоритме БВП операция последовательного частотного расщепления применяется как для низкочастотных, так и для высокочастотных (детализирующих) коэффициентов. В результате возникает древо расщепления, при котором вейвлеты каждого последующего уровня образуются из вейвлета предыдущего уровня разделением на два новых вейвлета.

Новые вейвлеты также локализованы в пространстве, но на вдвое более широком интервале. Полный набор вейвлетных функций разложения принято называть вейвлет-пакетом [2].

Пакетное вейвлет-преобразование является адаптивным и широко используется для компрессии сигналов и их очистки от шумов. Оно позволяет более точно приспосабливаться к особенностям сигналов путем выбора соответствующей оптимальной формы древа разложения, которая обеспечивает минимальное количество вейвлет-коэффициентов при заданной точности реконструкции сигнала, и тем самым, целенаправленно исключает из обратного БВП незначимые, информационно избыточные или ненужные детали сигналов. Мерой оптимальности служит концентрация числа вейвлет-коэффициентов для реконструкции сигнала с заданной точностью. Оценка информативности набора коэффициентов выполняется по энтропии.

Любое усреднение коэффициентов увеличивает энтропию. При анализе древа вычисляется энтропия узлов и его разделенных частей. Если при разделении узла энтропия не уменьшается, то дальнейшее ветвление с этого узла не имеет смысла.

Сам процесс фильтрации сигналов с использованием вышеизложенного алгоритма заключается в том, что производятся ограничение древа до определенного уровня и отсечка ветвей с локальными особенностями сигналов, например с шумами.

В работе исследована возможность фильтрации сигнала с бинарной фазовой манипуляцией (BPSK) при различных отношениях сигнал/шум.

На вход вейвлет-фильтра поступает последовательность отсчетов зашумленного входного сигнала. После вейвлет-фильтра отфильтрованный дискретизированный сигнал поступает на вейвлет-процессор, вычисляющий коэффициенты дискретного вейвлет-преобразования. Последовательность коэффициентов поступает на вход решающего устройства, которое принимает решение о величине скачка фазы в данный момент времени. Во время скачка фазы резко возрастает значение вейвлет-коэффициентов, причем знак коэффициента зависит от величины скачка фазы.

Результаты моделирования показывают эффективность вейвлет-фильтрации сильно зашумленного сигнала, где используется декомпозиция до определенного уровня минимума энтропии. Вероятность ошибки демодуляции сигнала при отношении сигнал / шум порядка 0 дБ на входе бортового приемника составляет 15%. Таким образом, применение цифровой фильтрации на основе вейвлет-преобразования является перспективным направлением развития цифровой обработки сигналов. Внедрение данной обработки в спутниковые системы связи позволит более эффективно использовать ресурс космического аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скляр Б. Цифровая связь. М.: Вильямс, 2003. 1104 с.
2. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. М.: СОЛОН-Пресс, 2005. 575 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТЕЙ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Л.Л. Егоров, аспирант кафедры СРС
г. Томск, ТУСУР, т. 8 (3822) 413-709

Для оценки и анализа зон покрытий базовых станций на основе метода взвешенных наименьших квадратов предложен алгоритм пересчета радиусов зон покрытий в эквивалентные им мощности передатчиков для достижения предполагаемого покрытия.

Ранее в [1] был предложен и проиллюстрирован метод оптимального расчета зон покрытий БС с перестановкой столбцов, который основывался на решении системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с минимальной средней ошибкой.

В основе идеи реализации метода, позволяющего получить некоторый класс новых векторов-решений r, лежит метод взвешенных квадратов.

$$r = (A^T PA)^{-1} A^T Pd \ , \qquad (1)$$

где A – матрица эластичности; P – матрица положения столбцов в A^T; d – расстояния между базовыми станциями.

При расчете и проектировании радиолиний [2] в свободном пространстве мощность на приемном конце для приемопередающей системы определяется выражением (2):

$$P_{\text{вх}} = P_{\text{пер}} \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 G_1 G_2 \eta_1 \eta_2 , \qquad (2)$$

где $P_{\text{вх}}$ – мощность на входе приемника; $P_{\text{пер}}$ – мощность передатчика; λ – длина волны излучения; r – расстояние между приемником и передатчиком; $G_1 G_2$ – коэффициенты усиления антенн приемника и передатчика; $\eta_1 \eta_2$ – КПД фидерных систем приемника и передатчика.

По данному уравнению для однородной среды распространения радиоволн расстояние между приемником и передатчиком выражается следующим образом:

$$r = \sqrt{\frac{P_{пер} G_1 G_2 \eta_1 \eta_2 \lambda}{P_{вх} (4\pi)^2}} . \qquad (3)$$

В стандарте GSM максимальная дальность соты $r_{\max}$ ограничена 35 км [3]. Максимальные мощности передатчиков БС зависят от типов приемопередающего оборудования, а также от фирмы-производителя. Найдем отношение $r_{\text{МС}}$ (произвольное расстояние МС от БС) к $r_{\max}$, выраженное мощностным соотношением

$$\frac{r_{\text{МС}}}{r_{\max}} = \sqrt{\frac{P_{\text{пер МС}} P_{\text{вх max}}}{P_{\text{вх МС}} P_{\text{пер max}}}} . \qquad (4)$$

Обозначим $P_{\text{вх max}}$ и $P_{\text{вх МС}}$ как минимальную мощность на входе приемника МС, необходимую для уверенного приема, тогда

$$\frac{r_{\text{МС}}}{r_{\max}} = \sqrt{\frac{P_{\text{пер МС}}}{P_{\text{пер max}}}} . \qquad (5)$$

Или:

$$P_{\text{пер МС}} = \left(\frac{r_{\text{МС}}}{r_{\max}} \right)^2 \cdot P_{\text{пер max}} . \qquad (6)$$

Выражение (6) позволяет осуществлять пересчет полученного вектора решений r в (3) в соответствующий ему вектор мощностей P.

Рассмотрим вышесказанное на примере.

Возьмем кластер размерностью $q = 5$ с расположением четырех БС по вершинам квадрата и 5-й – на пересечении диагоналей (рис. 1). Интенсивности поступающих нагрузок для каждой БС примем одинаковыми $y_{1\text{-}5} = 1$Эрл, расстояния между БС $d_{12} = d_{25} = d_{45} =$ $= d_{14} = 10{,}000$ (км), $d_{13} = d_{23} = d_{35} = d_{34} = 7{,}071$ (км).

Частным случаем решения (1) будет распределение зон покрытий БС, показанное на рис. 2 ($r_1 = r_2 = r_4 = r_3 = 5$ (км) и $r_3 = 2{,}071$ (км)).

Вектор $\vec{r} = \{5;5;2{,}071;5;5\}$.

Из (6) $\vec{P} = P_{\max}\{0{,}02;0{,}02;0{,}0035;0.02;0{,}02\}$.

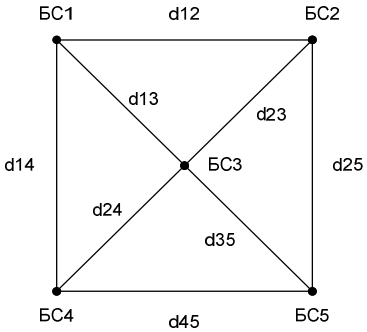


Рис. 1. Кластер размерностью $q = 5$

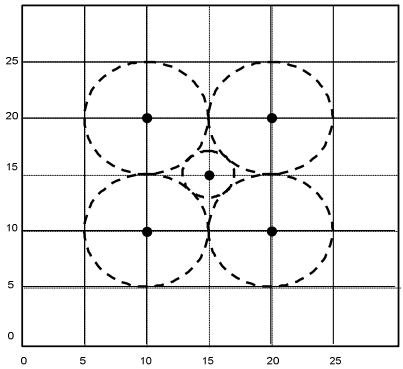


Рис. 2. Распределения зон покрытия БС для кластера $q = 5$

Таким образом, предложен алгоритм пересчета и оценки в относительных единицах уровня излучаемых мощностей. Данный пересчет прост в своем исполнении, универсален для всех вендеров оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров Л.Л. Алгоритм расчета зон покрытия базовых станций: Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники / Л.Л. Егоров, В.И. Кологривов. 2007. № 2(16). 244 с.
2. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Сов. радио, 1972. 464 с.
3. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. М.: Эко-Трендз, 2005. 296 с.

ОЦЕНКА ДВУХПОЗИЦИОННОЙ ЭПР ОТРАЖАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ НА НАЗЕМНЫХ ТРАССАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

В.П. Денисов, д.т.н., проф. каф. РТС,
А.А. Гельцер, аспирант каф. РТС
г. Томск, НИИ РТС ТУСУР, т. 413-889, and@front.ru

В радиолокации широко используется понятие эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) объектов наблюдения (радиолокационной

цели) [1–2]. Под ЭПР понимают поперечное сечение такой цели, которая, рассеивая сигналы во все стороны равномерно, создает у локатора такую же плотность потока мощности, как и реальная цель. Существует большое количество литературы, в которой рассмотрены вопросы расчета и оценки ЭПР, в том числе экспериментальные данные значений ЭПР реальных радиолокационных целей. При этом в наиболее распространенном случае радиолокационная система (РЛС) является однопозиционной. Случай, когда передатчик и один или несколько приемников РЛС разнесены на значительное расстояние (РЛС является разнесенной или многопозиционной), встречается гораздо реже, и количество публикаций с результатами экспериментальных исследований ЭПР в таких системах относительно невелико.

В данной работе использовались экспериментальные данные исследований, проведенных в НИИ РТС ТУСУР, позволяющие провести оценку двухпозиционной ЭПР отражающих объектов на наземной трасе распространения радиоволн (РРВ).

Запишем выражение для расчета ЭПР отражающего объекта:

$$\sigma_{Э} = \frac{P_{ПР}\left(4\pi R_2 R_1\right)^2}{P_{ПЕР} G_{ПЕР} S_A(\alpha)}, \qquad (1)$$

где $P_{ПЕР}$ – мощность излучаемого сигнала; $G_{ПЕР}$ – коэффициент усиления антенны передатчика; R_1 – расстояние от передатчика до объекта; R_2 – расстояние от приемника до объекта; S_A – эффективная площадь приемной антенны; α – направление на отражающий объект от нормали к раскрыву приемной антенны.

Трасса РРВ, на которой проводились исследования, является равниной с небольшими лесными массивами и не содержит возвышенностей естественного или искусственного происхождения. Приемная позиция находилась на обрывистом берегу, с которого обеспечивалась прямая видимость на передающую позицию. Расстояние между приемным и передающим пунктами составляло 16 686 м.

Передающий пункт имеет следующие параметры: ширина диаграммы направленности (ДН) в горизонтальной плоскости составляла 2° по уровню 0,5; поляризация – вертикальная; длительность излучаемого импульса 300 нс; несущая частота 9,2 ГГц. Антенна передающего пункта осуществляла круговое сканирование в горизонтальной плоскости. Приемный пункт представляет собой двухбазовый фазовый пеленгатор. Его антенная система выполнена из рупоров вертикальной поляризации с величиной эффективной площади на рабочей частоте $S_{РУП}$ = 0,01 м^2 (одного рупора) в максимуме ДН. В приемных каналах

регистрировались квадратурные составляющие принимаемых сигналов с периодом дискретизации 11 нс.

Обработанные экспериментальные данные содержали синхронизированные по времени (относительно момента излучения) записи реализаций огибающих и разностей фаз принимаемого сигнала в разнесенных антеннах в цифровой форме. Измерительная аппаратура более подробно описана в [3].

При обработке экспериментального материала вычислялись координаты отражающих объектов на основе информации о пеленге на них и направлении антенны передающего пункта в момент пеленгования. По вычисленным координатам объектов определялись значения R_1 и R_2 в (1). При расчетах не учитывалась зависимость S_A от направления на отражающий объект.

Из значений $\sigma_Э$, рассчитанных за оборот антенны передатчика, была получена гистограмма ЭПР отражающих объектов, изображенная на рис. 1.

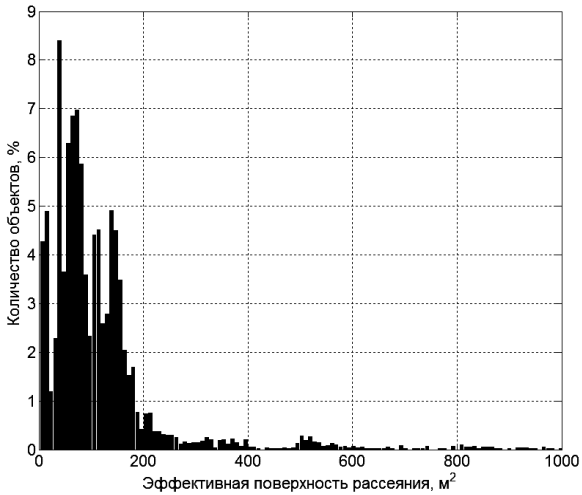


Рис. 1. Гистограмма двухпозиционной ЭПР на исследуемой трассе РРВ

Проведенный анализ показал, что основными отражающими объектами, на исследуемой трассе РРВ, являются лесные массивы и их кромки. Из гистограммы видно, что значения двухпозиционной ЭПР для данных отражающих объектов лежат в пределах 300 м^2. Мода гистограммы находится на значении ЭПР, равном 100 м^2. Значения ЭПР более 300 м^2 составляют 6% от общего количества рассчитанных зна-

чений (расчет произведен интегрированием количества объектов со значением ЭПР больше 300 м^2 по гистограмме).

Полученная гистограмма позволяет определить пределы, в которых лежат значения ЭПР лесных массивов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сколник М. Справочник по радиолокации. Т. 1. М.: Сов. Радио, 1976.
2. Красюк Н.П., Коблов В.Л. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС. М.: «Радио и связь», 1988.
3. Измерительный комплекс для исследования пространственно-временного искажения радиосигналов трехсантиметрового диапазона на наземных трассах / М.Е. Ровкин, М.В. Крутиков, А.А. Мещеряков и др. // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2006. №6. С. 7–11.

АЛГОРИТМ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В ДВУХПОЗИЦИОННОЙ УГЛОМЕРНОЙ СИСТЕМЕ

Е.П. Геннинг, студент 5-го курса, В.А. Зорин, аспирант, В.А. Кураков, доцент

г. Томск, ТУСУР, bazz@kvadro.net

В работе рассматривается задача определения местоположения целей на плоскости по данным двух подвижных пеленгационных систем, взаимное расположение которых известно точно. Данные пеленгационных измерений содержат случайные ошибки, статистические характеристики, которых известны [1]. Дискретные гауссовские последовательности ошибок пеленгования некоррелированы во времени и между собой в пространстве.

Для решения задачи формирования фильтра сопровождения целей может быть использован метод статистической нелинейной фильтрации [2–4].

Алгоритм сопровождения целей состоит из нескольких этапов [5]: обнаружение траектории, сопровождение цели, передача данных в базу траекторных данных, сброс траектории.

Структурная схема системы сопровождения целей приведена на рис. 1. Схема содержит следующие блоки: блок экстраполяции (Э), блок селекции (С), блок завязки траектории (З), база траекторных данных (БТ).

Разделение схемы на данные блоки является условным. В принципе в ходе траекторной обработки должно осуществляться совместное обнаружение–оценивание целевой обстановки в зоне ответственности РЛС.

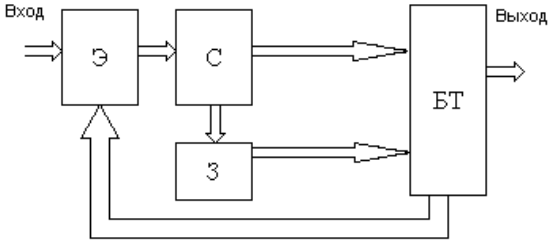


Рис. 1. Структурная схема системы сопровождения целей

В ходе вторичной обработки радиолокационной информации при обнаружении траектории одной из задач является фильтрация потока ложных отсчетов.

Обнаруженными, согласно наиболее распространенным в настоящее время подходам, считаются траектории, которые подтверждаются отсчетами, попавшими в строб селекции.

В основе операции селекции лежит принцип отбора отсчета на *k*-м такте наблюдения, с наибольшей вероятностью относящемуся к прогнозируемому положению цели в этот же момент времени.

При решении задачи селекции в процессе отбора отсчета, относящегося к траектории некоторой цели, в *k*-й момент времени, так или иначе, анализируется величина рассогласования экстраполированной оценки положения *j*-й цели (*j*-й траектории) с положением *i*-го отсчета, т.е. невязка измерений $\Delta Z_{jik} = \Delta Z_{ji}(t_k)$. В ходе операции селекции проверяется гипотеза о согласованности или несогласованности величины ΔZ_{jik} с характеристиками возможных ошибок.

Операция завязки является вспомогательной задачей, так как информация о существовании целевой траектории дополнительно проверяется в ходе дальнейшей обработки, в процессе которой также уточняются ее параметры.

В ходе операции завязки анализируются отсчеты, принадлежность которых к уже сопровождаемым траекториям или местным предметам не установлена. Необходимо проверить любой такой «свободный» отсчет: не является ли он возможным началом траектории некоторой цели.

Для описания динамических систем необходимо определить вектор состояния, эволюцию вектора состояния во времени и вектор управляющих воздействий системы. Вектор состояния подбирается таким образом, чтобы информация, содержащаяся в нем, полностью или с каким-то приближением описывала интересующие исследователя свойства реальной системы.

В прямоугольных координатах состояние цели на плоскости полностью определяется четырьмя параметрами: координаты цели и две составляющие скорости цели. Динамика системы в данном случае описывается линейными уравнениями, а модель измерений – нелинейными. Алгоритм сопровождения целей адаптирован к случайным пропаданиям сигналов и аномальным погрешностям пеленгования. В случае возникновения случайных пропаданий сигналов оценка на выходе фильтра заменяется экстраполированным значением, а аномальные погрешности отбраковываются по критерию «3 сигма» [3].

Исследование алгоритма сопровождения целей было выполнено методом прямого вероятностного моделирования на ЭВМ. Относительная ошибка оценки дальности до цели изменяется от 12 до 3% в конце траектории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарыгин Г.С. Статистическая структура поля УКВ за горизонтом. М.: Радио и связь, 1983. 139 с.

2. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.

3. Ярлыков М.С., Миронов М.А. Марковская теория оценивания случайных сигналов. М.: Радио и связь, 1993.

4. Кондратьев В.С. и др. Многопозиционные радиотехнические системы. Под ред. В.В. Цветова. М.: Радио и связь, 1986. 264 с.

5. Информационные технологии в радиотехнических системах. М.: МГТУ, 2004. 768 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСКЛЮЧЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ОШИБОК В ФАЗОВЫХ ПЕЛЕНГАТОРАХ, РАБОТАЮЩИХ ПО СКАНИРУЮЩЕМУ ИСТОЧНИКУ

Н.А. Колядин, аспирант каф. РТС, В.П. Денисов, проф. каф. РТС

г. Томск, ТУСУР, НИИ РТС, т. 413-889, rwplab@ms.tusur.ru

Целью данной работы является исследование алгоритма исключения импульсов, несущих аномально большие погрешности пеленга, из последовательности многоимпульсных измерений направления на сканирующий импульсный источник радиоизлучения.

Исследования проводились на сигналах, полученных в реальных условиях распространения радиоволн. Применяемая аппаратура, которая позволяла производить «мгновенные» измерения разности фаз в различных временных сечениях импульса, а также описание эксперимента и трассы подробно представлены в [1] и [2].

Типичные примеры зависимости амплитуды и пеленга от угла поворота антенны передатчика, полученные в результате экспериментальных исследований, представлены на рис. 1. По горизонтали отложен угол поворота антенны передатчика относительно направления на пеленгатор, по вертикали отложена амплитуда сигнала на выходе антенны, дБ/мВ, и пеленг, в градусах, соответственно.

Рис. 1. Зависимости амплитуды и пеленга от угла поворота антенн передатчика, сечение 55 нс относительно начала импульса

Аналогичные зависимости были рассчитаны в нескольких временных сечениях импульса, по ним были рассчитаны СКО пеленга и сведены в табл. 1. Расчеты проводились в секторе углов поворота антенны пеленгатора ±80°.

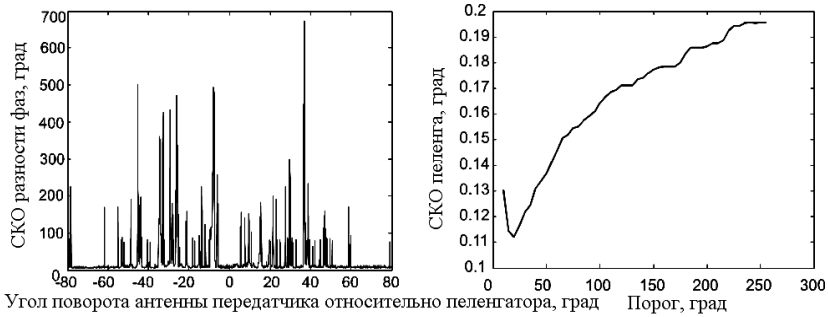
Таблица 1

СКО пеленга в секторе ±80°, вертикальная поляризация излучения

Временное сечение от начала импульса, нс	Вертикальная поляризация приема	Горизонтальная поляризация приема
	Большая база	Большая база
22	0,61	0,43
55	0,36	0,31
110	0,45	0,27
220	0,75	0,46
330	0,98	0,72
385	1,35	1,16

Из рис. 1 видно, что для погрешностей измерений характерны выбросы, возникающие при некоторых фиксированных положениях антенны передатчика, которые существенно влияют на СКО пеленга в секторе углов. Выбросы связаны с амплитудно-фазовыми искажениями принимаемых сигналов, которые, в частности, проявляются как флуктуации разности фаз в течение импульса.

На рис. 2, *а* представлена зависимость СКО полной разности фаз внутри импульса на большой базе вертикально поляризованных антенн от угла поворота антенны передатчика.



а *б*

Рис. 2. Зависимость СКО полной разности фаз на большой базе вертикально поляризованных антенн от угла поворота антенны передатчика (*а*); *б* – зависимость СКО пеленга на большой базе вертикально поляризованных антенн от значения порога

Видны выбросы, которые соответствуют большому значению СКО, что подтверждает предположение о наличии искажений внутри импульса.

Было решено устранить из расчетов наиболее искаженные импульсы, введя порог по значению СКО разности фаз внутри импульса. Если СКО разности фаз не превышает этот порог, то импульс участвует в расчете пеленга, если превышает – то импульс отбрасывается. Пеленг рассчитывается как среднее арифметическое по первым двадцати отсчетам внутри импульса [1, 2]. Таким образом, была рассчитана зависимость оценки пеленга от значения порога, которая представлена на рис. 2, *б*.

Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Сравнивая полученные результаты (табл. 1 и 2), можно сделать следующие выводы. Предложенный алгоритм селекции импульсов по СКО разности фаз внутри импульса работоспособен и позволяет уве-

личить точность пеленгования, в данном случае при согласованном по поляризации приеме более чем в 3 раза, при приеме на кроссполяризации – практически в 2 раза. Также предложенный алгоритм следует проверить на других трассах распространения радиоволн при различных условиях селекции.

Таблица 2

Результаты проверки алгоритма селекции

Поляризация приема	Вертикальная	Горизонтальная
СКО пеленга, град	0,11	0,17
Кол-во выпавших точек, %	52	85
Порог СКО РФ, град	20	15
Порог алгоритма УН [2]	0,3	0,3

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов В.П., Крутиков М.В., Колядин Н.А. Экспериментальное исследование двухбазового фазового пеленгатора на наземной трассе // Тр. XXII Всерос. науч. конф. «Распространение радиоволн» РРВ-22, Ростов н/Д, 2008. Т. 2. С. 125–128.

2. Денисов В.П., Крутиков М.В., Колядин Н.А., Скородумов М.П. Экспериментальное исследование антенной системы двухбазового фазового пеленгатора на наземных трассах // Тр. науч. конф., посвященной 100-летию НИИ «ВЕКТОР». «Научно-технические проблемы в промышленности», СПб., 2008. С. 20–24.

АНАЛИЗ АЛГОРИТМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕННОГО СИГНАЛА И ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПО ПРИНЯТОМУ СИГНАЛУ, ИПОЛЬЗУЮЩЕГО КЕПСТРАЛЬНЫЙ ПОДХОД

С.А. Кузнецов, аспирант каф. РТС, А.С. Чумаков, к.ф.-м.н., проф.

г. Томск, ТУСУР, т. 8-906-951-68-72, Eltec@sibmail.com

Проведен обзор литературы, который показал, что большинство работ, связанных с восстановлением излученного сигнала и импульсной характеристики канала распространения, использующих кепстральный подход, написаны зарубежными авторами. Данный подход [1, 2] имеет большой научно-практический интерес, вследствие чего целью данной работы является краткое и понятное изложение его

идеи, а также анализ проблем, возникающих при использовании его в радиочастотном диапазоне.

Из некоторой точки пространства источник радиоизлучения (ИРИ) излучает сигнал $s(t)$ с неизвестными характеристиками. Он распространяется по каналу с неизвестной импульсной характеристикой $h(t)$. В другой точке наблюдается принятый сигнал, представляющий собой свертку излученного сигнала и импульсной характеристики канала распространения.

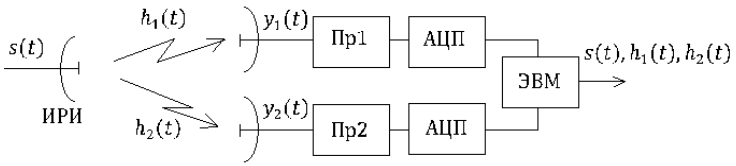


Рис. 1. Схема эксперимента

Задача заключается в том, чтобы по свертке $y_i(t)$ определить неизвестные сигнал $s(t)$ и импульсную характеристику канала $h_i(t)$.

Для решения данной задачи используется двухканальная приемная система. Модель сигнала на входе 1-го и 2-го приемника имеет вид

$$y_i(t) = s(t) * h_i(t) + w_i(t), \qquad (1)$$

где $w_i(t)$ – аддитивный белый гауссовский шум (БГШ); $*$ – обозначение операции свертки.

Было замечено [4], что спектры высокого порядка сохраняют информацию о фазовой структуре сигнала, для которого они определяются.

Из спектров высокого порядка на практике используется биспектр, который определяется следующим образом:

$$B_{y_i}(\omega_1, \omega_2) = F\{R_{y_i}(m,n)\} = F\left\{\frac{1}{N}\sum_k y_i(k) \cdot y_i(k+n) \cdot y_i(k+m)\right\}, \qquad (2)$$

где $R_{y_i}(m,n)$ – корреляционная функция третьего порядка процесса $y_i(t)$; F– прямое преобразование Фурье.

Найдем биспектр от левой и правой части (1), имея в виду, что биспектр свертки функций равен произведению биспектров сворачиваемых функций:

$$B_{y_i}(\omega_1, \omega_2) = B_s(\omega_1, \omega_2) \times B_{h_i}(\omega_1, \omega_2). \qquad (3)$$

Здесь учтено, что для гауссовского процесса $w_i(t)$ корреляционная функция третьего порядка, как момент нечетного порядка, и соответствующий биспектр равны нулю.

Выполняя логарифмирование выражения (3), получим

$$\log[B_{y_i}(\omega_1,\omega_2)] = \log[B_s(\omega_1,\omega_2)] + \log[B_{h_i}(\omega_1,\omega_2)].$$

Перейдем от биспектра к бикепстру. Бикепстр $y_i(t)$ определяется

$$C_{y_i}(m,n) = F^{-}\{log\,[B_{y_i}(\omega_1,\omega_2)]\}.$$

В области бикепстров выражение (3) перепишется

$$C_{y_i}(m,n) = C_s(m,n) + C_{h_i}(m,n). \quad (4)$$

Далее определим коэффициенты бикепстров. Они зависят от нулей и полюсов z-преобразования функций $y_i(t)$, $s(t)$, $h_i(t)$. Обозначим через A – коэффициенты кепстров, соответствующие минимально-фазовым компонентам, а через B – максимально-фазовым компонентам процессов $y_i(t)$, $s(t)$, $h_i(t)$.

В области коэффициентов кепстров (4) запишем

$$A_{y_i} = A_s + A_{h_i}, \quad (5)$$

$$B_{y_i} = B_{y_i} + B_{h_i}. \quad (6)$$

Найдем разность соответствующих коэффициентов в первом и втором каналах:

$$A_{y_1} - A_{y_2} = A_{h_1} - A_{h_2}, \quad (7)$$

$$B_{y_1} - B_{y_2} = B_{h_1} - B_{h_2}. \quad (8)$$

В левых частях (7) и (8) стоят кепстральные коэффициенты принятого сигнала, которые рассчитываются по указанному алгоритму.

В правых частях (7) и (8) стоят кепстральные коэффициенты импульсных откликов двух каналов.

В [1] предложен итерационный алгоритм решения уравнений (7) и (8). По найденной импульсной характеристике канала распространения излученный сигнал будет равен

$$s(t) = F^{-1}\left\{\frac{Y_1(j\omega)}{H(j\omega)}\right\}, \quad (9)$$

где F^{-1} – обратное преобразование Фурье.

Таким образом, в данной работе приведены теоретические предпосылки решения задачи, сформулированной в заголовке. Остается много вопросов, связанных с технической реализацией алгоритмов в радиочастотном диапазоне. Они будут рассмотрены в последующих статьях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Petropulu A.P., Chrysostomos L.N. Blind Deconvolution Using Signal Reconstruction from Partial Higher Order Cepstral Information // IEEE Transactions on signal processing. 1993. Vol. 41, № 6. June.

2. Holambe R.S., Ray A.K., Basu T.K. Phase-Only Blind Deconvolution Using Bicepstru Iterative Reconstruction Algorithm (BIRA) // IEEE Transactions on signal processing. 1996. Vol. 44, № 9. September.

3. Тоцкий А.В., Астола Я., Егиазарян К.О. и др. Восстановление сигналов по оценкам биспектров в присутствии гауссовых и негауссовых помех.

4. Chrysostomos L.N., Mysore R.R. Bispectrum Estimation: A Digital Signal Processing Framework // Proceedings of the IEEE. 1987. Vol. 75, № 7. July.

5. Enis Cetin A. An Iterative Algorithm for Signal Reconstruction from Bispectrum // IEEE Transactions on signal processing. 1991. Vol. 39, № 12. December.

6. Petropulu A.P., Chrysostomos L.N. Signal Reconstruction from the Phase of the Bispectrum // IEEE Transactions on signal processing. 1992. Vol. 40, № 3, March.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО СИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦИЙ

А.В. Кузовников[1], В.А. Анжина[1], Н.В. Демаков[1], аспиранты, В.А. Кураков[2], доцент

г. Красноярск, ОАО ИСС[1]; г. Томск, ТУСУР[2]; ujub@list.ru

В работе представлен способ модуляции широкополосного сигнала при помощи биортогональной вейвлет-функции. Применение сложных сигналов позволяет эффективно бороться с различными помехами, спектр которых сосредоточен в более узком диапазоне частот по сравнению с диапазоном, занимаемым спектром сложного сигнала.

Для модулирования псевдослучайной последовательности (ПСП) Голда использована биортогональная вейвлет-функция [1]. При модулировании были заданы следующие параметры сигнала: скорость передачи информационного символа $V = 1$ кбит/с; длина ПСП Голда $N = 31$.

Согласно [1] полиномы для последовательности Голда имеют следующий вид: для верхнего плеча схемы: $g_1(p) = p^5 + p^2 + 1$; для нижнего плеча схемы: $g_2(p) = p^5 + p^4 + p^2 + p + 1$.

Для модуляции полученной ПСП использовалась функция биортогонального вейвлета [2].

Сигнал, модулированный биортогональной вейвлет-функцией, представлен на рис. 1. На рис. 2 показан сигнал с теми же параметрами, но модулированный обычной двоичной фазовой модуляцией BPSK.

Спектр сигнала, модулированного биортогональной вейвлет-функцией, приведен на рис. 3. Спектр сигнала с той же ПСП, модулированного BPSK, показан на рис. 4.

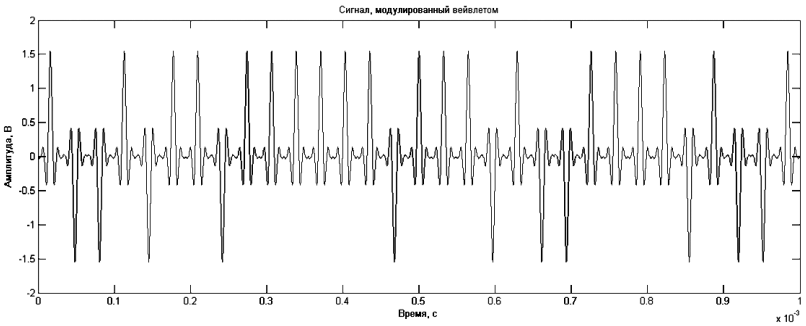


Рис. 1. Сигнал, модулированный биортогональным вейвлетом

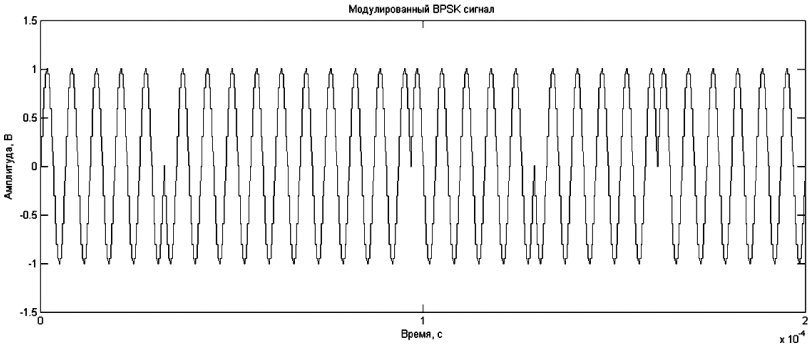


Рис. 2. Сигнал, модулированный BPSK

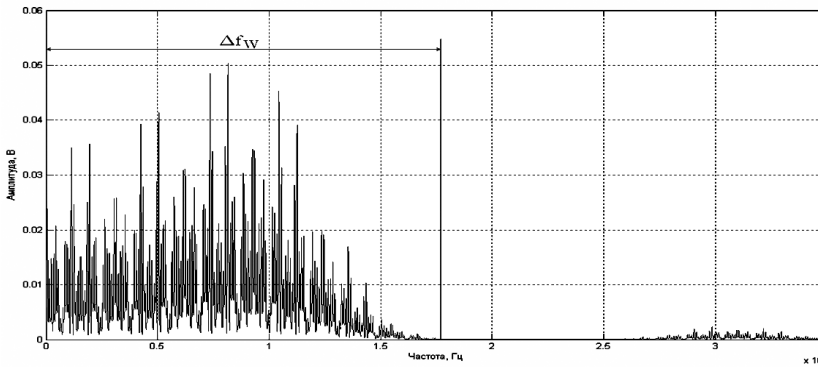


Рис. 3. Спектр сигнала, модулированного биортогональным вейвлетом

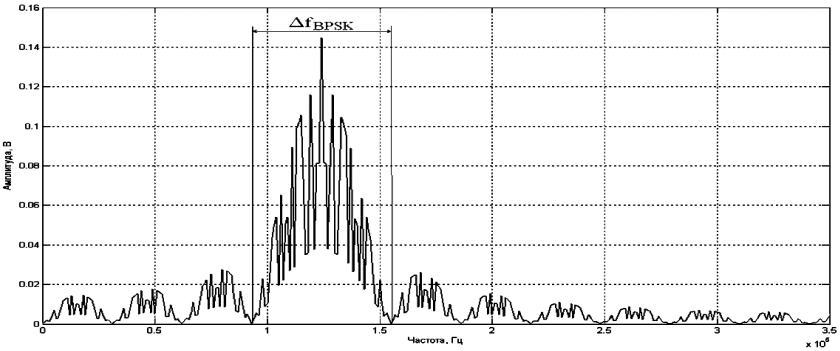


Рис. 4. Спектр сигнала, модулированного BPSK

Анализ полученных спектров показал увеличение ширины полосы сигнала, модулированного биортогональной вейвлет-функцией в 3,5 раза, по сравнению с шириной полосы сигнала, модулированного двоичной фазовой модуляцией BPSK. При этом увеличение помехозащищенности полученного сигнала пропорционально увеличению ширины полосы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. М.: Радио и связь. 2000. 800 с.
2. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLab. М.: ДМК Пресс, 2008. 448 с.

РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ В ЗАВАЛАХ

Н.А. Лобанов, П.В. Уйданов, студенты 4-го курса
г. Томск, ТУСУР, lobanov@sibmail.ru, blooser@pochta.ru

Главным требованием при поиске и спасении жертв снежных лавин является высокая оперативность. В настоящее время существуют несколько способов поиска людей, попавших в лавину: с помощью щупов, собак, красных лавинных лент. Однако эти способы требуют большого времени поиска. По статистике в течение первого часа пребывания в лавине вероятность остаться в живых составляет 50%, а уже через три часа она не превышает 10%.

В настоящее время для эффективного поиска в завалах используются лавинные радиомаяки или, как их называют, биперы. Принцип их действия следующий: радиопередающее устройство посылает сигнал определенной частоты и способно улавливать сигнал, отраженный от датчика (ответчика), расположенного на пострадавшем. По этому сигналу определяется местоположение пострадавшего, после чего в ход идут обыкновенные лопаты. На рынке существует много таких устройств, но их минимальная цена составляет около 10000 руб. Это достаточно дорого, так как бипер должен быть у каждого члена группы.

Суть разрабатываемого нами проекта заключается в создании дешевого (себестоимостью около 1000 руб.) приемно-передающего устройства (ППУ), помогающего при поиске людей в лавинах.

Устройство должно совмещать в себе и приемник, и передатчик. Идея построения устройства заключается в том, что оно должно работать в трех режимах – режиме передачи, режиме приема и выключенном режиме. Когда группа людей проходит лавиноопасный участок, все устройства должны быть включены в режиме передатчика. При сходе лавины все оставшиеся на поверхности члены группы должны переключить устройства в режим приема и с их помощью искать пропавших.

Передатчик излучает с помощью ненаправленной антенны сигнал во все стороны. Приемник имеет направленную антенну. При изменении ориентации приемной антенны по уровню мощности принимаемого сигнала можно определить направление на пострадавшего и распознать приближение или удаление от него в ходе спасательных работ.

ППУ предназначено для эксплуатации при экстремальных условиях (в условиях холода, высокой влажности) и должно крепиться к телу человека. Оно должно удовлетворять следующим требованиям:

- быть компактным;
- противостоять низким температурам;
- работать длительное время в условиях холода;
- сила сигнала должна быть постоянной независимо от состояния батарей;
- должен быть предусмотрен поиск множественных целей;
- прибор должен быть защищен от помех (атмосферные помехи) и т.д.

Рабочая частота устройства выбрана равной 433 МГц, сигнал такой частоты достаточно хорошо проходит через толщу снега и распространяется в условиях лесистой местности.

Рассмотренные варианты принципиальных схем приемника и передатчика представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

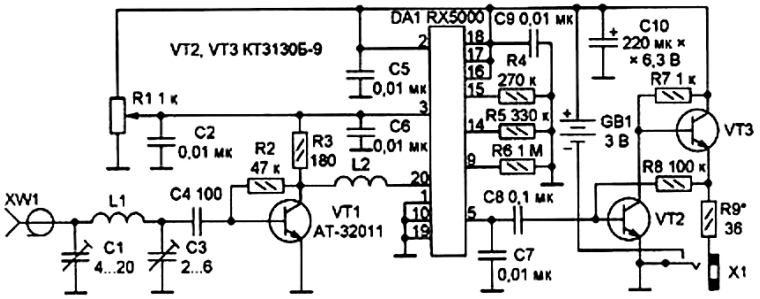


Рис. 1. Принципиальная схема приемника

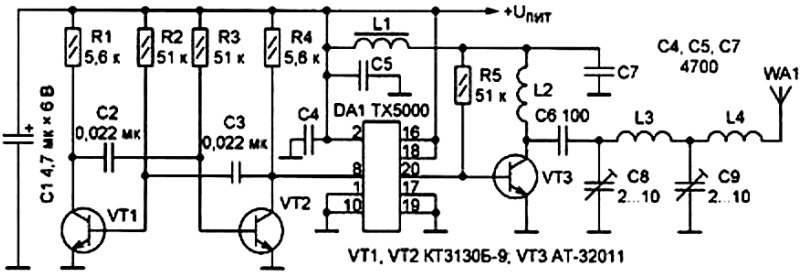


Рис. 2. Принципиальная схема передатчика

На следующих этапах выполнения проекта будет изготовлена печатная плата, выполнен монтаж элементов, проведены тестирование устройства и его доработка.

ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТА УДАРА МОЛНИИ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

М.В. Миронов, П.А. Мартовицкий, студенты 4-го курса
г. Томск, ТУСУР, mironov_mihail87@mail.ru,
mpa.daydreamer@gmail.com

Гроза представляет собой сложное природное явление, которое представляет большую опасность для народного хозяйства. При грозе создаются сильные электрические поля внутри облака и в окружающем пространстве. В таких условиях между отдельными частями облака или между облаками возникают искровые разряды – молнии. Они представляют большую опасность для авиации, ЛЭП, телефонных станций и других объектов народного хозяйства.

Возникла идея спроектировать обнаружитель грозовых разрядов при ударе молнии в линию электропередач (ЛЭП) с целью определения места попадания разряда. Практической ценностью такого устройства является то, что отпадает необходимость проверки всей линии электропередачи. Зная место, в которое ударила молния, например один из пролетов ЛЭП, можно значительно сократить время, необходимое для ремонта.

Для определения места удара молнии электропередач используется один из методов корреляционного анализа. Заключается он в вычислении взаимной корреляционной функции (ВКФ) двух сигналов. В момент удара молнии в ЛЭП по линии начинают распространяться сигналы от места разряда к концам линии, на которых установлены приемники. Из-за того, что сигналы пройдут разные расстояния, образуется разность во времени между моментами приема каждого сигнала. Вычисление взаимной корреляционной функции сигналов и определение положения ее максимума позволяют вычислить эту разность.

Корреляционная функция определяет меру похожести двух сигналов друг на друга при их взаимном сдвиге. Максимум ВКФ двух сигналов, не смещенных относительно друг друга, находится при нулевом значении момента времени. Максимум ВКФ смещенных относительно друг друга сигналов находится при моменте времени, отличном от нуля. Этот момент времени и есть та самая разность времен приема сигналов на разных концах линии. Зная разность во времени и скорость распространения сигнала по линии, можно вычислить разность расстояний, прошедших сигналами, а следовательно, и место попадания молнии в ЛЭП.

Все разряды молнии разбиты на пять типов. На рис. 1 приведены осциллограммы характерных представителей всех типов [1].

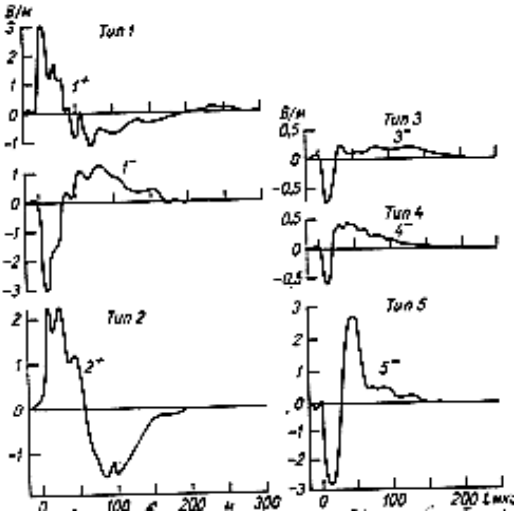


Рис. 1. Типы разрядов молнии

Разряды типов 1 и 2, отличающиеся лишь величиной второй полуволны, образуют наиболее многочисленный класс (86% общего числа) разрядов так называемого нормального типа. За основу модели сигнала молнии взят разряд второго типа.

Моделирование проводилось в цифровом виде. При распространении по линии на сигнал воздействует помеха в виде шума, искажающая истинную форму сигнала. Помеха является аддитивной, т.е. она просто добавляется к полезному сигналу. Форма сигнала искажается из-за того, что шум является случайной функцией, и ее значения в различные моменты времени различны.

Прохождение сигналами разных путей и наличие двух приемников на концах линии определяют различие шумов, складываемых с сигналами. Поэтому при моделировании должны формироваться две разных реализации шума для двух каналов приема сигнала.

Для определения места удара молнии в ЛЭП необходимо вычислить временную задержку между двумя сигналами по максимуму ВКФ. Из-за того, что реализации шума при каждом вычислении ВКФ различны, форма ВКФ и положение ее максимума оказываются случайными. Путем многократного повторения процедуры расчета ВКФ при моделировании можно определить статистические характеристики положения максимума ВКФ, а следовательно, и ошибки определения места грозового разряда. Пример взаимной корреляционной функции двух сигналов приведен на рис. 2.

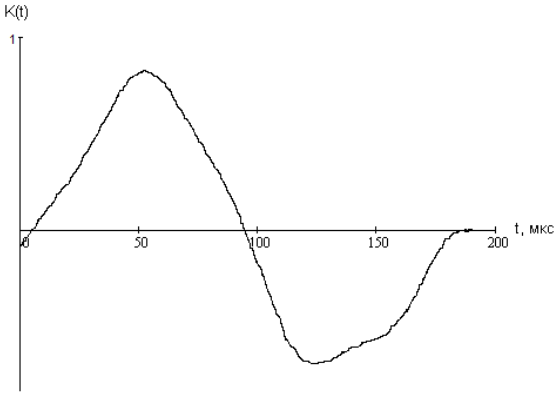


Рис. 2. Взаимная корреляционная функция двух сигналов

На этапе моделирования отношение сигнал/шум было принято равным 15, так как заряд молнии несет в себе большую энергию, следовательно, амплитуда сигнала будет большой. При таком отношении

сигнал/шум погрешность определения места удара молнии в ЛЭП составляет около 300 м, что позволяет достаточно точно определить, в какой пролет линии ударила молния.

Остается открытым вопрос о передаче принятых сигналов на разных концах линии к центру обработки, где будет вычисляться взаимная корреляционная функция.

В результате проведенной работы разработана схема эксперимента, смоделированы процессы удара молнии в ЛЭП, рассчитаны погрешности определения места удара. В настоящее время проводится эксперимент для проверки теоретических расчетов, уточняется схема реального устройства, определяются технические требования к аппаратуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашпровский В.Е. Определение местоположения гроз радиотехническими методами. М.: Наука, 1966. 249 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА УСТРАНЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ОШИБОК ПРИ ПЕЛЕНГОВАНИИ ФАЗОВЫМ ПЕЛЕНГАТОРОМ С КОММУТИРУЕМЫМ ОДНОКАНАЛЬНЫМ ПРИЕМНИКОМ

К.Е. Мухомор, аспирант каф. РТС, В.П. Денисов, проф. каф. РТС
г. Томск, ТУСУР, НИИ РТС, т. 413-889, rwplab@ms.tusur.ru

Целью данной работы является исследование алгоритма, повышающего точность пеленгования фазовым пеленгатором с коммутируемым одноканальным приемником, путем исключения из обработки аномальных ошибок пеленгования.

При исследованиях применялось полунатурное моделирование работы фазового пеленгатора с коммутируемым одноканальным приемником. Описание применяемой аппаратуры, проведенного эксперимента и трасс распространения, на которых проводились экспериментальные исследования, представлены в [1].

Пример зависимости уровня принимаемого сигнала, разности фаз после устранения неоднозначности и пеленга от угла поворота антенны сканирующего источника излучения представлены на рис. 1. По горизонтали отложен угол поворота антенны источника излучения в градусах, по вертикали отложены уровень принимаемого сигнала в дБ/Вт, разность фаз в градусах, соответственно. Расчеты проводились в секторе углов поворота антенны источника ±180°.

По аналогичным зависимостям для различных поляризаций и периодов коммутации были рассчитаны среднеквадратические погрешности измерения пеленга фазовым пеленгатором с коммутируемым одноканальным приемником. Рассчитанные данные представлены в таблице.

Из рис. 1 и таблицы следует, что полученная точность фазового пеленгатора с коммутируемым одноканальным приемником неприемлемо мала для многих приложений. Анализируя зависимость разности фаз после устранения неоднозначности, от угла отворота антенны источника излучения, видим, что существуют аномально большие выбросы при некоторых угловых положениях антенны источника излучения. Таким образом, одним из методов повышения среднеквадратической точности пеленгования в секторе угловых положений антенны РЛС является устранение этих аномальных значений разности фаз.

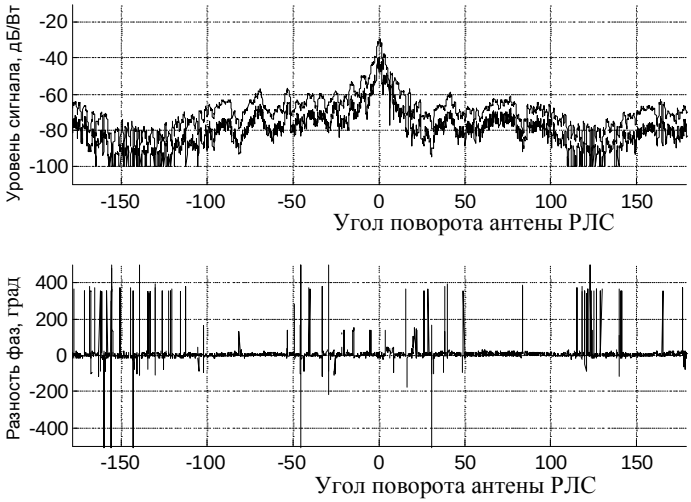


Рис. 1. Зависимость уровня принимаемого сигнала и разности фаз после устранения неоднозначности от угла поворота антенны источника излучения, период коммутации 11 нс

Среднеквадратическая ошибка измерения пеленга в секторе углов ±180°, полученная одноканальным фазовым пеленгатором

Период коммутации, нс	Вертикальная поляризация	Горизонтальная поляризация
11	0,17	0,18
55	0,2	0,21
10	0,6	0,7

Для того чтобы устранить эти выбросы, был принят алгоритм сравнения значений разности фаз между импульсами полученной после устранения неоднозначности измерения разности фаз. Чтобы определить пороговое значение, при котором будут получены приемлемая точность и наименьшие потери среди массива имеющихся данных, было проведено исследование зависимости среднеквадратической погрешности измерения пеленга от величины порогового значения и зависимости количества исключаемых импульсов от величины порогового значения.

Графический вид зависимости среднеквадратической погрешности измерения пеленга от величины порогового значения представлен на рис. 2. По вертикали отложена среднеквадратическая погрешность пеленгования в градусах, по горизонтали – величина порогового значения в градусах.

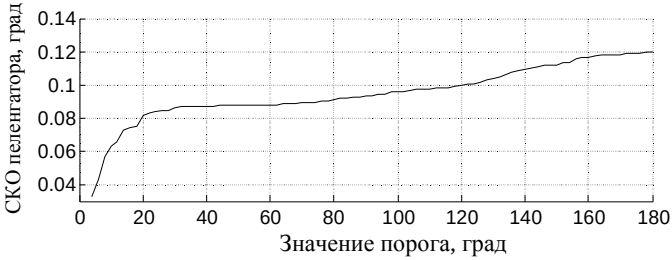


Рис. 2. Зависимость среднеквадратической погрешности пеленгования от величины порогового значения

На рис. 3 представлен графический вид зависимости количества исключаемых импульсов от величины порога. По вертикали отложено количество импульсов, участвующих при расчете пеленга в процентах относительно первоначального количества отсчетов, по горизонтали отложена величина порогового значения в градусах.

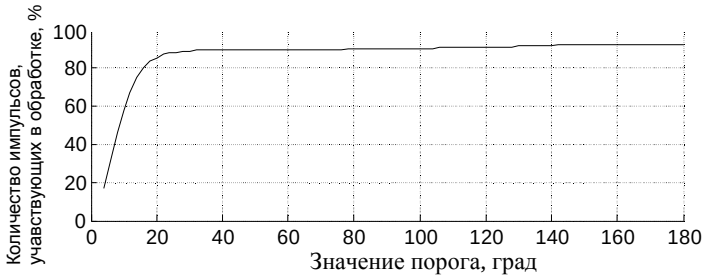


Рис. 3. Зависимость количества участвующих в обработке импульсов от величины порогового значения

Как видно из рис. 2 и 3, наименьшая ошибка пеленгования составляет 0,037 град, но при этом от начального количества данных остается менее 20%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванеев О.П., Денисов В.П., Мухомор К.Е., Травин В.В. Влияние трассы распространения радиоволн на точность пеленгования фазовым пеленгатором с коммутируемым одноканальным приемником // Науч.-практ. конф. «Научно-технические проблемы в промышленности: научные, инженерные и производственные проблемы создания технических средств мониторинга электромагнитного поля с использованием инновационных технологий», г. Санкт-Петербург. СПБ.: Политехника-сервис, 2008. С. 25–30.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ УТОЧНЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОГО МЕТОДА

П.В. Полюхович, магистрант 1-го курса каф. РТС,
А.А. Мещеряков, к.т.н., с.н.с. НИИ РТС
г. Томск, ТУСУР, т. 8-903-954-40-97, polpv@sibmail.com

Корреляционно-экстремальный метод навигации, использующий информацию о физическом поле Земли, в основном применяется для местоопределения на пересеченной местности. Широкое применение нашли системы, которые в качестве физического поля Земли используют геомагнитную информацию и характер рельефа местности.

Использование же этих систем в городских условиях имеет ограничения, вызванные большими девиациями магнитного поля и неоднородностью окружающей местности [1].

Целью данной работы является экспериментальная оценка возможности применения корреляционно-экстремального метода в задачах местоопределения, использующего информацию о данных лазерного сканирования местности.

Эксперимент проводился в городских условиях. Вдоль одной прямой, на расстоянии 4 м относительно друг друга, было выбрано пять точек (1, 2, 3, 6, 7) (рис. 1), называемых опорными, и четыре точки (4, 5, 8, 9), выбранные в случайном порядке.

На рис. 1 координаты выносных и опорных точек приведены в скобках относительно первой точки. В каждой точке, с помощью лазерного безотражательного дальномера (тахеометра GPT-7501L), проводились измерения дальностей до объектов местности и угла в горизонтальной плоскости. За начало отсчета угла было выбрано направле-

ние на точку В. Выполнялось сканирование в секторе углов ±90° с шагом 5°. В результате эксперимента в каждой точке были получены азимутальные разрезы в виде зависимостей дальностей до объектов местности от горизонтального угла.

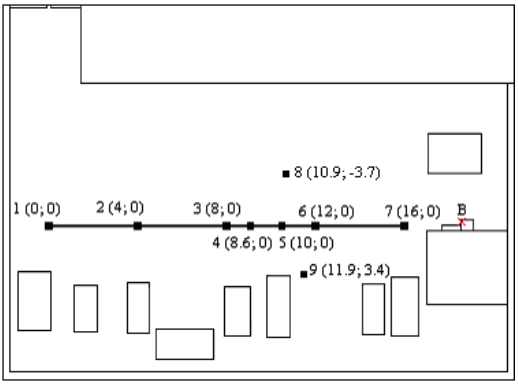


Рис. 1. План расположения опорных и выносных точек района проведения эксперимента

Для определения удаленности точек друг от друга, а также величины смещения точек от прямой, соединяющей опорные точки, были рассчитаны и построены взаимные корреляционные функции азимутальных разрезов точек: 2 и 7; 3 и 4; 6 и 9; 5 и 8. Взаимные корреляционные функции были аппроксимированы степенной функцией с достоверностью 0,99. Результаты обработки представлены на рис. 2–5.

Рис. 2. Взаимная корреляционная функция азимутального разреза в точках 2 и 7

Рис. 3. Взаимная корреляционная функция азимутального разреза в точках 3 и 4

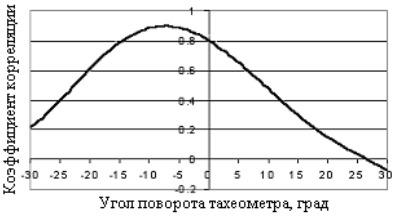


Рис. 4. Взаимная корреляционная функция азимутального разреза в точках 6 и 9

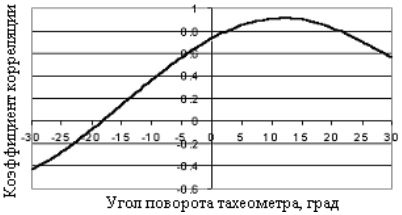


Рис. 5. Взаимная корреляционная функция азимутального разреза в точках 5 и 8

Из рис. 2–5 видно, что при перемещении объекта по точкам вдоль прямой смещение максимума взаимной корреляционной функции азимутального разреза равно нулю. При смещении пункта измерения относительно линии опорных точек происходит отклонение максимума взаимной корреляционной функции от нулевого положения. Отклонение составило +11° при расположении пункта измерения выше линии опорных точек, и –7° – ниже.

На рис. 6 изображены зависимости отклонения максимума взаимных корреляционных функций данных, полученных в точках 8 (сплошная линия), 9 (пунктирная линия) с данными опорных точек от номера точки.

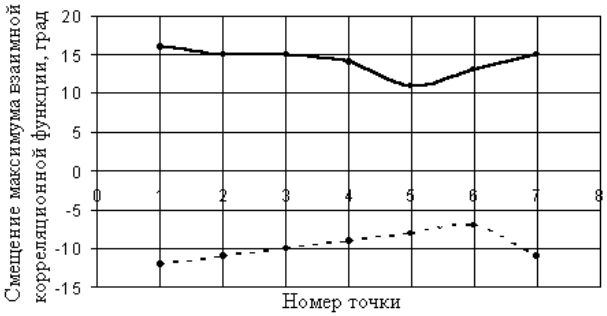


Рис. 6. Зависимости отклонения максимума взаимных корреляционных функций от номера точки

Положение экстремумов функций на рис. 6 свидетельствует о том, что смещение максимума взаимной корреляционной функции азимутального разреза в двух точках тем меньше, чем ближе точки расположены друг к другу. На основании экспериментальной оценки можно сделать вывод, что применение корреляционно-экстремального метода, для которого, в качестве характеристик физического поля Земли, используются данные лазерного сканирования местности, позволяет

определять местоположение объектов в городских условиях, относительно заранее известных ориентиров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкарев А.М. Корреляционно-экстремальные системы навигации // Зарубежная радиоэлектроника. 1981. № 9. С. 28–53.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАПРАВЛЕННЫХ МИКРОФОНОВ

А.С. Раков, инженер ИМКЭС СО РАН,
Д.С. Раков, м.н.с. ИМКЭС СО РАН, ТУСУР
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3, rakov@imces.ru

В статье рассматривается методика определения слышимости и разборчивости речи, разработанная для испытаний направленных микрофонов. Дано описание направленного микрофона на основе параболического зеркала диаметром 30 см. Также приведены результаты его испытаний.

Одним из наиболее часто принимаемых информационных сообщений является речевой сигнал. Слышимость тех или иных частотных компонент речевого сигнала непосредственно влияет на его разборчивость. Чем шире диапазон частот речевого сигнала, тем лучше качество передаваемой речевой информации. В государственных (российских) и международных стандартах под разборчивостью речи понимается «степень, с которой речь может быть понята слушателем» [3]. Для оценки разборчивости речи существуют несколько методов, которые можно разделить на две большие группы. К первой группе относятся методы, основанные на субъективной экспертной оценке (ГОСТ 16600–72, ГОСТ 25902–83, ГОСТ Р 51061–97). Ко второй группе [3, 4] относятся методы, основанные на расчете отношения сигнал/шум, такие, как: AI – индекс артикуляции; STI – индекс передачи речи; SII – индекс разборчивости речи (ISO/TR-4870, ANSI S3.2, S3.5; IEC 268-19).

В условиях, когда источник звука находится на достаточном удалении от приемника, то заранее оценить слышимость и разборчивость речи затруднительно, так как в атмосфере звук испытывает ослабление. В силу этого разборчивость приходящего сигнала определяется, прежде всего, максимальным значением частоты звуковых колебаний, которые еще могут быть услышаны. Поэтому основным критерием слышимости и разборчивости речи на какой-либо частоте является превышение вычисленного звукового давления для той же частоты над уровнем шума. Следует отметить, что прохождение достаточно низких

частотных компонентов определяет слышимость звука, а более высоких – разборчивость речи [1, 2].

Для проведения испытаний направленных микрофонов была разработана методика определения слышимости и разборчивости речи принимаемого речевого сигнала с учетом канала распространения звука. Суть данной методики сводится к расчету отношения сигнал/шум для 5 основных частот речевого диапазона. Для учета канала распространения были специально рассчитаны сводные таблицы коэффициентов ослабления, учитывающие следующие параметры:

- атмосферное поглощение, включающее в себя классическое и молекулярное ослабление звука для различных метеорологических условий;
- ослабление, вызванное подстилающей поверхностью.

Работоспособность методики была проверена при испытаниях разработанного направленного микрофона на основе параболического зеркала диаметром 30 см.

Характеристики антенной системы микрофона:

- Диаметр зеркала 0,32 м
- Фокус параболического зеркала 0,13 м
- Глубина параболического зеркала 0,05 м

Характеристика электронной части микрофона:

- Напряжение питания $U_п$ 9 В
- Полоса частот 300…3500 Гц
- Чувствительность 48 мВ/Па
- Коэффициент усиления $K_у$ 100 дБ

Характеристика направленности разработанного направленного микрофона приведена на рис. 1.

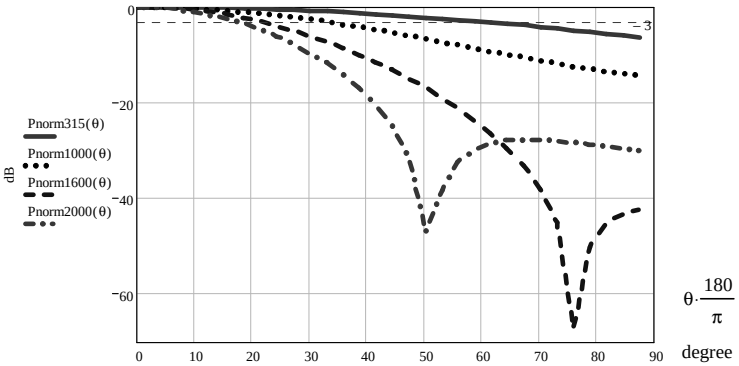


Рис. 1. Характеристика направленности направленного микрофона

На рис. 2 представлен внешний вид направленного микрофона.

Рис. 2. Направленный микрофон

Испытания направленного микрофона проводились на территории ИМКЭС СО РАН. По результатам испытаний на расстоянии 30 м слышимость и разборчивость речи, принимаемая направленным микрофоном, совпали с результатами расчета по методике определения разборчивости речи для направленных микрофонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красненко Н.П., Раков Д.С. Характеристики фонового окружающего шума в атмосфере и их взаимосвязь с параметрами среды // Сб. тр. XVI сессии Российского акустического общества. Т. II. М.: ГЕОС, 2005. С. 106–110.
2. Красненко Н.П. Приземное распространение звуковых волн в атмосфере // Акустические измерения и стандартизация. Ультразвук и ультразвуковые изтехнологии. Атмосферная акустика. Акустика океана: Сб. тр. XV сессии Российского акустического общества. Т. II. М.: ГЕОС, 2004. С. 97–102.
3. Егоров А.Н., Иванова А.Ю., Красненко Н.П. и др. Слышимость и разборчивость речи при приземном звуковом вещании на большие расстояния // Акустические измерения и стандартизация. Ультразвук и ультразвуковые технологии. Атмосферная акустика. Акустика океана: Сб. тр. XVI сессии Российского акустического общества. Т. II. М.: ГЕОС, 2005. С. 113–117.
4. Рашевский Я.И., Каргашин В.Л. Обзор зарубежных методов определения разборчивости речи // Специальная техника. 2002. № 3–6; 2003. № 1.

ПОСТРОЕНИЕ И РАСЧЕТ ИЗЛУЧАЮЩИХ АКУСТИЧЕСКИХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Ц.Д. Сандуков, м.н.с. ИМКЭС СО РАН
г. Томск, ТУСУР, tsyden@ngs.ru

Мощные излучающие акустические антенные решетки необходимы для использования их в составе акустических локаторов для зондирования атмосферы [1], громкоговорящих и звуковещательных установок, систем для исследования распространения звука в атмосфере [2] и других приложениях. К данным системам предъявляются такие требования, как высокая направленность и широкополосность излучения, малый уровень боковых лепестков (УБЛ), мобильность, мощность излучаемого сигнала. Перспективным здесь является использование многоэлементных антенных решеток из отдельных рупорных излучателей. Это позволяет повысить излучаемую звуковую мощность за счет увеличения числа элементов решетки, реализовать требуемую диаграмму направленности (ДН) и малый уровень (УБЛ).

Антенная решетка (АР) представляет собой совокупность дискретных элементов, каждый из которых осуществляет когерентно по отношению к остальным излучение (или прием) акустических волн. Форма АР может быть прямоугольной, круглой или шестиугольной и определяется требованиями к ДН и конструктивными особенностями системы. При расчетах за основу были взяты результаты исследований, проведенные в работе [3]. Как показали теоретические расчеты, при увеличении числа элементов решетки от 40 до 104 увеличение мощности излучаемого сигнала происходит по логарифмическому закону.

В качестве элементарного излучателя был использован пьезоэлектрический электроакустический преобразователь РНТ-11. Выбор обусловлен более высоким, по сравнению с электродинамическими излучателями, КПД и меньшим весом. Результаты расчетов уровня звукового давления АР, приведенного к расстоянию 1 м, приведены в таблице.

Уровень звукового давления в зависимости от числа элементов

Число элементов, шт.	Звуковое давление, дБ	Габаритные размеры, мм
40	134	700×700
60	135	900×900
76	136	900×900
84	138	1020×1020
104	138	1020×1020

Для проведения экспериментальных исследований был собран макет АР из 40 элементов (рис. 1, *а*). Диаграммы направленности АР в двух плоскостях для частоты 3 кГц приведены на рис. 1, *б*, *в*.

Максимальная акустическая мощность, полученная со звуковым сигналом на частоте 2000 Гц, составила 127 дБ. Использованный в АР пьезоэлектрический излучатель РНТ-11 имеет следующие технические характеристики:

1. Полоса частот: 3 … 27 кГц.
2. Номинальная электрическая мощность: 150 Вт.
3. Пиковая электрическая мощность: 200 Вт.
4. Входное сопротивление: 8 Ом.
5. Диаметр устья: 77 мм.
6. Масса: 0,075 кг.
7. Габаритные размеры: 85×85×70 мм.

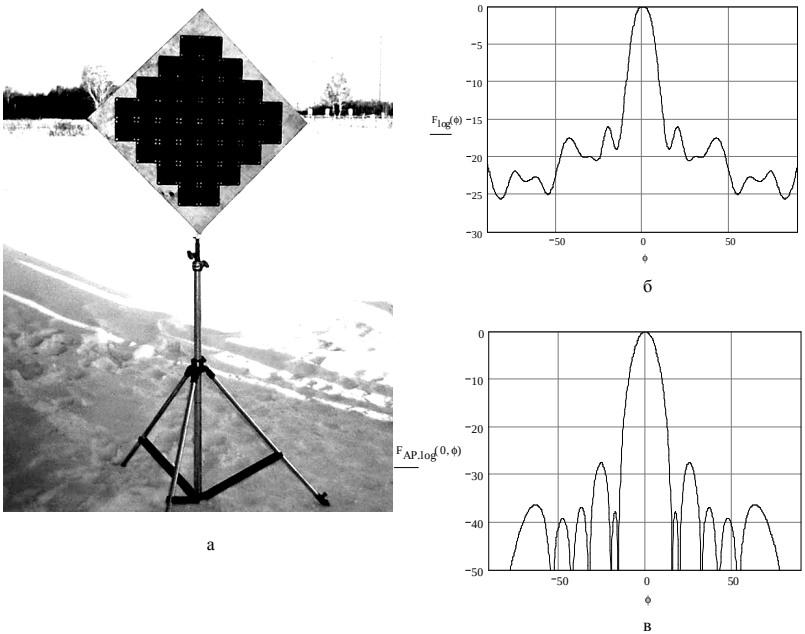


Рис. 1. Внешний вид макета (*а*), диаграммы направленности (*б*, *в*)

Испытания антенной решетки производились на территории ИМКЭС СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красненко Н.П. Акустическое зондирование атмосферного пограничного слоя. Томск, 2001. 278 с.
2. Бочкарев Н.Н., Клочков В.А., Красненко Н.П., Фомичев А.А. Мощная акустическая решетка для атмосферных исследований // Распространение звуковых и оптических волн в атмосфере: Сборник статей. Томск: ТФ СО АН СССР, 1988. С. 101–104.
3. Кушнер А.А., Мананко Е.Е. Акустический локатор на фазированной антенной решетке // Матер. регион. науч.-техн. конф. «Научная сессия ТУСУР-2003». Томск: ТУСУР,. 2003. С. 32–34.

ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСОВ В ПАССИВНОЙ СИСТЕМЕ РАДИОМОНИТОРИНГА

А.В. Серов, магистр, Н.В. Демаков, аспирант, В.А. Кураков, доцент
г. Томск, ТУСУР, AV_Serov_2010@kvadro.net

Проблема отождествления импульсов. При решении задачи определения координат разностно-дальномерным способом возникает проблема соответствия импульсов в различных импульсных последовательностях.

На входе блока отождествления импульсов присутствуют данные измерения характеристик импульсов: несущая частота, амплитуда сигнала, ширина спектра сигнала, время начала сигнала, длительность. На выходе блока формируются номера отождествленных импульсов либо выдается флаг «импульсы не идентифицированы».

Описание алгоритма. В зависимости от имеющейся априорной информации задача идентификации радиоимпульсов, полученных в различных пунктах приема сигналов, может быть решена при использовании известных статистических критериев [1–4].

Применительно к решаемой задаче может быть использован критерий взвешенных наименьших квадратов. Для его применения необходима только информация о дисперсиях измеряемых параметров.

В простейшем случае этот критерий может быть задан в следующей форме:

$$\sum_{i}^{N_1}\sum_{j}^{N_2}\frac{(d_{ijk}-d_{ijl})^2}{\sigma_i^2},$$

где N_1 – число параметров в цифровом формуляре; N_2 – число анализируемых импульсов; d_{ijk} – измеряемый цифровой параметр; l, k – номера анализируемых цифровых формуляров; i – переменная суммирования по измеряемым цифровым параметрам; j – переменная суммиро-

вания по номеру импульса в цифровом формуляре; σ_i^2 – дисперсия измеряемого параметра.

Для применения критерия могут быть использованы известные методы оптимизации [5–7]. В частности, эта задача может быть решена прямым перебором вариантов. В итоге радиоимпульсы разбиваются на группы. Радиоимпульсы от одной группы считаются полученными от одного источника излучения.

При использовании критерия должно быть оценено время запаздывания сигналов в пунктах приема (максимальное и минимальное значение). Максимальное значение пропорционально расстоянию между измерительными пунктами. Минимальное значение может быть получено исходя из конфигурации диаграмм направленности антенных систем. Оценка времени запаздывания сигналов, во-первых, позволяет корректно использовать критерий; во-вторых, сокращает время на оптимизацию по критерию наименьших квадратов.

Задача оптимизации требует значительных вычислительных затрат, поэтому оптимальный алгоритм обработки сигналов должен быть упрощен (без значительного вреда на конечный результат), что, в конечном счете, позволит сократить число вычислительных операций и время, необходимое для решения задачи определения координат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационные технологии в радиотехнических системах. М.: МГТУ, 2004. 768 с.
2. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации / Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.
3. Тисленко В.И. Статистическая теория радиотехнических систем. Томск: ТУСУР, 2003. 153 с.
4. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. М.: Связь, 1976., 496 с.
5. Поляк Б.Т. Введение в оптимизацию. М.: Наука, 1983. 384 с.
6. Сухарев А.Г. Курс методов оптимизации. М.: Наука, 1986. 328 с.
7. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс / Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1988.

ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ НАСЕКОМЫХ

В.А. Шатров, студент 4-го курса
г. Томск, ТУСУР, т. 8-923-408-98-08, mindhunter88@mail.ru

Контроль параметров среды является важной задачей, решение которой необходимо для создания автоматизированных систем управ-

ления различного назначения. В частности, прогресс в сфере пчеловодства может быть достигнут путем внедрения дистанционных методов наблюдения за условиями обитания пчелосемей при их расположении в удаленных пунктах без постоянного присутствия персонала.

Для создания системы дистанционного контроля планируется использовать комплекс датчиков параметров среды и передачу информации о параметрах с помощью устройства мобильной связи стандарта GSM.

Для оперативного наблюдения за условиями жизни пчел контролю подлежат следующие параметры:

- температура в отдельных частях ульев и общая температура в пункте расположения пасечного комплекса;
- шумовые характеристики деятельности пчелосемей.

Технические требования к системе контроля определены исходя из предположения о том, что пасечный комплекс из 58 ульев будет размещен в автобусе, во время сезона сбора меда находящемся в удаленном лесном массиве. Контроль температуры и уровня шума должен производиться в нескольких (для начала) точках комплекса. Периодичность измерений и передачи информации на пункт управления должна составлять один раз в час. Основные технические требования:

- интервал измеряемых значений: температуры –5÷+40 и +35÷+40 град, динамический диапазон регистрируемых изменений уровня шума –10 дБ;
- допустимая среднеквадратическая погрешность измерений температуры – 0,1 град;
- питание автономного комплекса осуществляется от аккумуляторов, время необслуживаемой работы – не менее одного месяца;
- конструктивное исполнение датчиков и системы сбора данных и передачи информации должно предусматривать защиту от деятельности насекомых и атмосферных воздействий;
- индикация параметров в пункте управления – таблица на экране портативного компьютера;
- должны быть предусмотрены запоминание принимаемой информации, ее вывод по запросу, а также аварийная звуковая и световая сигнализация в случае выхода параметров за пределы, устанавливаемые программным путем;
- система должна иметь защиту от несанкционированного доступа и соответствующую сигнализацию.

На рис. 1 изображена предлагаемая функциональная схема системы дистанционного контроля, на рис. 2 – планируемый вид индикации на экране компьютера.

Рис. 1. Функциональная схема системы

Дата	Время	T_1, град	N_1, дБ	T_2, град	Общий контроль (+/–)
19.05.09	13:00	+10	–4	36,6	+
19.05.09	14:00	+12	–4	36,6	–
…	…	…	…	…	…

Рис. 2. Вид индикации на экране компьютера

Блок, где обнаружена неполадка	Пояснение
Питание	Батарея разряжена
Датчики	Нет ответа с датчика № XXX
…	...

Рис. 3. Вид индикации ошибки на компьютере

Описание работы функциональной схемы: БУ состоит из микроконтроллера, который управляет GSM-модемом и датчиками сбора информации; памятью; часами. Каждый час опрашиваются датчики, данные сохраняются в память. На компьютер клиента передача происходит ночью один–два раза за сутки. Допустимо производить запрос с сотового телефона о состоянии конкретного датчика. Ответ оправляется моментально. При критической ситуации владелец оповещается СМС-сообщением (номер хранится в памяти БУ).

В качестве датчика температуры используется терморезистор. Уровень шума контролируется с помощью микрофона.

Анализ функциональной схемы позволяет определить требуемые технические характеристики элементов схемы.

Контроллер сбора информации – это многоразрядный микроконтроллер с памятью, COM-портом, встроенным АЦП и др. На этапе разработки возможно использование персонального компьютера.

Программное обеспечение системы в пункте управления включает опрос датчиков в зависимости от времени, протокол использования GSM-модема, хранение некоторого количества информации, набор ожидаемых команд от владельца и варианты ответа на них.

Предлагаемая система представляет собой универсальную платформу для дистанционного контроля многих параметров. Состав параметров может быть расширен. Систему можно будет использовать не только для конкретной цели контроля пчелиных семей, но и для любых других целей в быту или на производстве.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОШИБОК ПАССИВНЫХ РАДИОЛОКАТОРОВ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

П.О. Шумский, аспирант, Г.С. Шарыгин, проф.
г. Томск, ТУСУР, т. 8-913-821-38-88, spo@ms.tusur.ru

Принципы синтезирования апертуры антенн в радиолокации широко известны. Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) воздушного и космического базирования разрабатываются и применяются для дистанционного зондирования земной поверхности с высокой разрешающей способностью, доходящей до единиц метров [1].

Для решения задач мониторинга радиотехнической обстановки, обнаружения и определения координат источников излучения значительный интерес представляет определение возможности и путей построения РСА, работающих в пассивном режиме. Однако данные о подобных разработках в литературе отсутствуют.

Главным препятствием при создании пассивных РСА является требование сохранения высокой когерентности принимаемого сигнала в течение времени синтезирования T_c. Фазовые шумы и нестабильность частоты источников излучения приводят к тому, что поле в синтезированном раскрыве приемной антенны приобретает случайные изменения, искажающие синтезированную диаграмму направленности.

Мгновенное значение напряженности поля отдельного источника излучения в месте приема может быть представлено в виде

$$u(x,t)=\mathrm{Re}\left[U(x,t)e^{j\varphi(x,t)}e^{j\Delta\omega t}e^{j\omega t}\right], \qquad (1)$$

где x – координата точки расположения физической антенны вдоль направления движения; ω – частота излучения источника; φ – изменения фазы, вызванные фазовыми шумами (нестабильностью частоты) источника; $\Delta\omega$ – ошибка измерения частоты, т.е. разность истинной частоты и частоты, принятой для анализа, при этом $\Delta\omega$ за время синтезирования может считаться постоянной.

Амплитуда U и фаза φ зависят как от линейной координаты точки наблюдения x, так и от времени t. Полагая, что все пространственные изменения вызваны только временными, и связывая время и координату x с продольной скоростью носителя V, получим

$$u(x)=\mathrm{Re}\left[U(x)e^{j\varphi(x)}e^{j\frac{\Delta\omega}{V}x}e^{j\omega t}\right]. \qquad (2)$$

Здесь $U(x)$ и $\varphi(x)$ являются случайными функциями, интервалы корреляции которых Δx_{0U} и $\Delta x_{0\varphi}$ вдоль оси x пропорциональны

времени корреляции этих величин с коэффициентом V. Рисунок 1 иллюстрирует случайное распределение фазы вдоль раскрыва синтезированной антенны (СА) при расположении источника в поперечном направлении без учета расфокусировки, т.е. в случае, когда интервал синтезирования VT_c много меньше длины трассы.

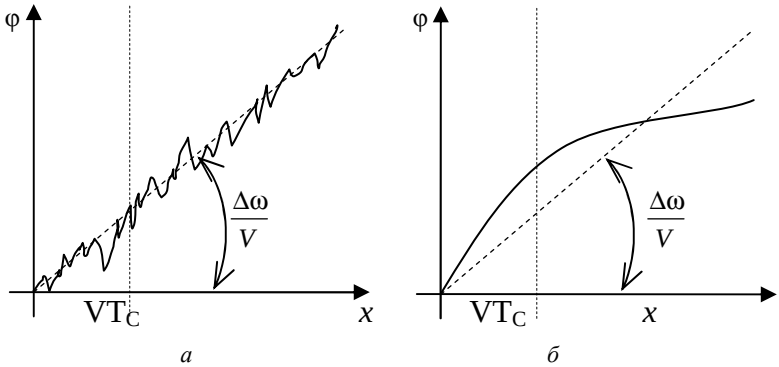


Рис. 1. Распределение фазы в раскрыве антенны пассивного РСА:
а – при $\Delta x_{0\varphi} << VT_c$; *б* – при $\Delta x_{0\varphi} >> VT_c$

Таким образом, можно выделить три источника ошибок пассивных РСА, связанных с неопределенностью параметров источника излучения:

1. Погрешность определения несущей частоты источника излучения, приводящая к наклону синтезированного фазового фронта и, соответственно, к отклонению диаграммы СА и систематической ошибке пеленгования.

2. «Медленные» флуктуации фазы (частоты) источника с временем корреляции, много большим времени синтезирования, также приводящие к отклонению диаграммы СА и ошибке пеленгования, однако эта ошибка является случайной при повторении процесса синтезирования.

3. «Быстрые» флуктуации фазы (частоты) источника с временем корреляции, много меньшим времени синтезирования, приводящие к случайным искажениям и расширению диаграммы СА и, следовательно, к уменьшению КНД и ухудшению разрешающей способности РСА, а также к подъему огибающей боковых лепестков диаграммы. К ана-

логичному эффекту приводит влияние собственных шумов приемной аппаратуры.

Случайные изменения амплитуды сигнала сказываются только в случае ее быстрых изменений и приводят к тому же эффекту, как и быстрые флуктуации фазы.

Случайные изменения (нестабильность) фазы или частоты источника излучения, как правило, имеют широкий спектр и на ограниченных интервалах времени являются нестационарными. Для их описания удобно вместо корреляционных использовать структурные функции [2] $D(\Delta t)=\left\langle\left[\varphi(t)-\varphi(t+\Delta t)\right]^2\right\rangle$ или $D(\Delta x)=\left\langle\left[\varphi(x)-\varphi(x+\Delta x)\right]^2\right\rangle$, где знак $\langle\ \rangle$ означает усреднение по реализациям, а $\Delta x=V\Delta t$.

Задачами анализа пассивных РСА являются:

- изучение структурных функций фазовых нестабильностей источников излучения различных классов;
- разработка статистических моделей распределения поля в раскрыве СА для случаев быстрых и медленных флуктуаций, а также с учетом влияния собственных шумов приемной аппаратуры;
- расчет перечисленных ранее систематических и случайных ошибок определения пеленга, а также ограничений по разрешающей способности пассивных РСА.

В результате анализа должна быть сделана оценка максимально возможного времени синтезирования апертуры антенны для различных классов излучающих систем, рассчитаны или получены путем математического моделирования соответствующие потенциальные показатели пассивных РСА по точности пеленгования и разрешающей способности для станций самолетного и космического базирования, получены рекомендации о необходимости и целесообразности фокусировки СА и разработаны алгоритмы цифровой обработки сигналов в пассивных РСА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиотехнические системы / Ю.П. Гришин и др.; Под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Высшая школа, 1990. 496 с.

2. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 1. Случайные процессы. М.: Наука, 1976. 496 с.

ОЦЕНКИ ФЛУКТУАЦИИ ЗАДЕРЖЕК ШУМОПОДОБНОГО СИГНАЛА В ДВУХЛУЧЕВОМ КАНАЛЕ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

П.И. Танцай, В.Г. Корниенко

г. Томск, ТУСУР, НИИ РТС, т. 413-889, rwplab@ms.tusur.ru

Экспериментальные исследования задержек шумоподобных радиосигналов на наземных трассах, которые приведены в работах [1, 2], показали, что флуктуации задержек исследуемого сигнала превышают по величине значения, которые могли бы быть обусловлены изменениями показателя преломления нижнего слоя тропосферы.

Задачей настоящей статьи является выявление причин повышенных флуктуаций задержек на трассе.

Оценка флуктуаций задержек сигналов на трассах по данным [1, 2], приведены в таблице. В таблице для трасс различной протяженности, измеренных в различное время, указаны экспериментальная оценка флуктуаций мгновенных задержек σ_{t_R}, ее шумовая составляющая $\sigma_{ш}$ и трассовая составляющая $\sigma_{зад}$, рассчитанная по формуле

$$\sigma_{зад} = \sqrt{\sigma_{t_R}{}^2 - \sigma_{ш}{}^2}\ .$$

Величина σ_{t_R} получена по центру тяжести корреляционной функции принимаемого шумоподобного сигнала на выходе коррелятора, метод расчета был приведен в [2]. Данные таблицы указывают, что на исследованных трассах протяженностью от 40 и до 19000 м трассовая составляющая имела значения от 0,8 до 1,5 нс и слабо зависела от протяженности трасс.

Оценка флуктуаций трассовой составляющей задержки сигнала

№ п/п	Протяженность трассы, м	σ_{t_R}, нс	$\sigma_{ш}$, нс	$\sigma_{зад}$, нс
1	40	1,34	1,05	0,833
2	7985	1,77	1,22	1,282
3	13334	1,56	1,29	0,877
4	16696	1,48	1,07	1,022
5	16696	1,84	1,06	1,504
6	16846	1,77	1,06	1,417
7	16864	1,63	1,06	1,238
8	16990	1,7	1,3	1,095
9	16875	1,7	1,07	1,321
10	19040	1,41	1,07	0,918

Предполагается, что источником флуктуаций задержек сигналов является многолучевая структура канала распространения радиоволн.

В совокупности с искажающим действием нелинейностей приемного устройства, приводящим к искажению форм корреляционной функции, интерференция отдельных лучей ведет к искажению формы принимаемого сигнала, что вызывает флуктуации момента прихода. Незначительные по величине изменения показателя преломления тропосферы приводят к тому, что фазы сигналов, прошедших через отдельные лучи, имеют случайный характер.

Таким образом, моделирование принятого сигнала, прошедшего многолучевый канал, сводилось к поиску огибающей комплексного отклика на выходе коррелятора в виде суммы нескольких сигналов, имеющих между собой некоторый сдвиг Δ_i, различное соотношение амплитуд и случайные начальные фазы

$$\dot{S}_{\text{пр}} = \sum_{i=0}^{n} \dot{R} \cdot \dot{S}_i(\Delta_i),$$

где $\dot{R} = R_i \cdot e^{j \cdot \varphi_i}$; R_i – коэффициент пропускания канала; φ_i – случайная начальная фаза, равномерно распределенная в интервале $(-\pi, \pi)$.

При моделировании выполнялись следующие операции. Была определена исходная огибающая на выходе коррелятора по результатам калибровки аппаратуры с использованием кабельных соединений. Формировались копии полученной огибающей, имеющие для нулевого сдвига (прямого сигнала) величину самой огибающей, для задержанного сигнала – огибающую, сдвинутую на величину Δ_i и умноженную на коэффициент пропускания канала R_i и дополненную $e^{j \cdot \varphi_i}$. Далее полученные значения сигналов отдельных каналов складывались в квадратуры и по центру тяжести полученной огибающей определялся момент прихода. Таких огибающих было получено 1000 штук по которым определялись момент прихода и СКО $\sigma_{\text{зад}}$. Для каждого сдвига Δ определялись значения отношений амплитуд R_0/R_i.

Результаты моделирования для двухлучевого канала, в котором наблюдалось всего два отклика R_0 и R_1 для трех значений отношений их амплитуд R_0/R_i при задержке $\Delta = 0 \div 51$ нс, представлены на рис. 1.

Анализ рисунка указывает, что наибольшее значение $\sigma_{\text{зад}}$ наблюдается при равных амплитудах прямого и задержанного сигнала. Максимум $\sigma_{\text{зад}}$ для формы корреляционной функции шумоподобного сигнала, которую обеспечивала приемная аппаратура, наблюдался при задержках 30–40 нс.

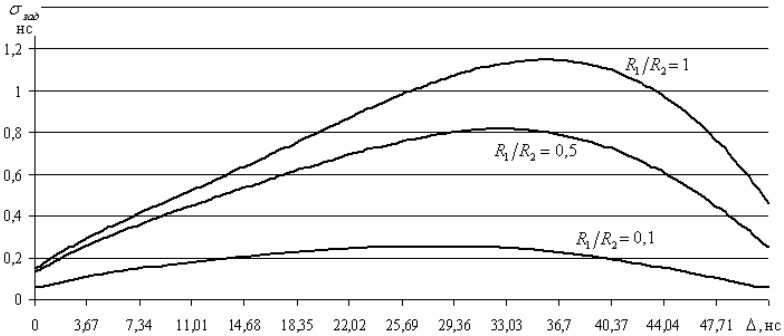


Рис. 1. Зависимость задержки суммарного сигнала на выходе коррелятора для двухлучевого канала

Полученные результаты моделирования указывают, что наблюдаемые на эксперименте флуктуации времени задержки $\sigma_{зад}$ могут быть объяснены двухлучевой структурой сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Танцай П.И. Анализ влияния искажений корреляционной функции шумоподобного сигнала на точность оценивания его временного запаздывания / П.И. Танцай, В.-К.А. Бирюкова, В.Г. Корниенко // Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем. Ульяновск, 2007. С. 152–153.

2. Танцай П.И. Экспериментальные исследования точности синхронизации шкал времени в пространственно разнесенных пунктах методом запросной радиолокации / П.И. Танцай, В.Г. Корниенко // Доклады ТУСУРа. 2008. № 2(18). Ч. 2. Декабрь. С. 25–31.

УСТРОЙСТВО СЕЛЕКЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В ПАССИВНОЙ СИСТЕМЕ РАДИОМОНИТОРИНГА

М.А. Васильев, магистр, В.А. Зорин, аспирант, В.А. Кураков, доцент

г. Томск, ТУСУР, bazz@kvadro.net

Проблема селекции импульсных последовательностей. Процедура селектирования сигналов, полученных от различных источников излучения, является одним из трудоемких этапов в работе системы радиомониторинга [1, 2]. Решение задачи затрудняет наличие помех различной природы и значительные объемы перерабатываемой информации.

Сигналы от источников радиоизлучения после обнаружения, измерения и фиксации параметров поступают в блок селекции сигналов. Входной поток данных классифицируется по следующим признакам:

- направление прихода сигнала,
- несущая частота,
- амплитуда сигнала,
- ширина спектра сигнала,
- время начала сигнала,
- длительность.

С выхода блока селекции сигналов данные, сгруппированные по принадлежности к источнику излучения, передаются для дальнейшей обработки в блок оценивания координат.

Описание алгоритма селекции. В большинстве случаев входные сигналы хорошо группируются по измеряемым параметрам. Особый интерес представляет ситуация, когда «одновременно» присутствует несколько временных последовательностей, неразличимых по другим параметрам, кроме периода следования импульсов. В этом случае задача группировки сигналов может быть решена при использовании ЭВМ.

Задача группировки сигналов может быть выполнена методом прямого перебора [4, 5]. В этом случае для выделения из входной смеси сигналов, имеющих одинаковый период следования, необходимо последовательно сравнивать все временные интервалы между собой. В результате импульсная последовательность разбивается на группы в соответствии с периодом следования импульсов.

Задача группировки сигналов значительно усложняется в случае наличия случайных пропаданий сигналов и аномальных ошибок измерений.

Для адаптации к случайным пропаданиям сигналов разработан алгоритм «склейки последовательностей».

Исследование алгоритма было проведено методом прямого вероятностного моделирования на ЭВМ. Простейший алгоритм группировки сигналов (прямой перебор) перестает работать при наличии 3% случайных пропаданий сигналов. Адаптивный вариант алгоритма обеспечивает устойчивую группировку сигналов при наличии 20% случайных пропаданий сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. М.: Горячая линия. Телеком, 2006. 492 с.

2. Партала А.Н. Методы обработки сигналов в пассивных радиоэлектронных системах // Зарубежная радиоэлектроника. 1991. № 6. С. 3–22.

3. Информационные технологии в радиотехнических системах. М.: МГТУ, 2004. 768 с.

4. Мельников Ю.П. Воздушная радиотехническая разведка. М.: Радиотехника, 2005. 304 с.

5. Петросян В.Г., Петросян Т.В. Методы перебора в решении физических задач // Информатика и образование. 1996. № 3. С. 73–83.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СОЗДАНИЯ ШКАЛЫ ЕДИНОГО ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ СТАНДАРТОВ ЧАСТОТЫ, ПОДСТРАИВАЕМЫХ СИГНАЛАМИ СРНС

А.С. Вершинин, студент 5-го курса каф. РТС,
А.А. Мещеряков, к.т.н., с.н.с. НИИ РТС
г. Томск, ТУСУР, т. 8-913-804-94-64, vershkoff@mail.ru

Потребность наличия шкалы единого времени в пределах региона, страны или всего земного шара возникает в различных радиотехнических системах (РТС). Например, задача синхронизации источника излучения и приемника в двухпозиционной радиолокационной системе не требует абсолютной шкалы времени – достаточно лишь обеспечить синхронную совместную работу двух систем. Для решения этой задачи в настоящее время широко используются как высокостабильные хранители времени, так и сигналы спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС и НАВСТАР. Использование хранителей времени (например, водородных стандартов частоты со стабильностью 10^{-14}), позволяющих получить высокую точность создания шкалы единого времени в течение длительного периода, ограничено из-за высокой их стоимости. Применение же в качестве хранителей времени стандартов частоты с меньшей стоимостью, таких как рубидиевые стандарты частоты, со стабильностью 10^{-11}, дает большее расхождение шкал времени в течение продолжительной работы системы. К тому же постоянная подстройка частот этих стандартов к эталону путем метрологической поверки в большинстве случаев затруднительна. Однако подстройка таких стандартов частоты может осуществляться с помощью сигналов СРНС, имеющих долговременную стабильность на 1–2 порядка выше, чем у этих стандартов частоты.

Целью данной статьи является исследование точности шкалы единого времени, полученной с помощью двух рубидиевых стандартов частоты, подстраиваемых сигналами СРНС.

Экспериментальная оценка точности проводилась в лабораторных условиях. Исследуемая система состояла из двух идентичных комплектов аппаратуры, в каждый из которых входили: приемник СРНС GPS и рубидиевый стандарт частоты (структурная схема представлена на рис. 1).

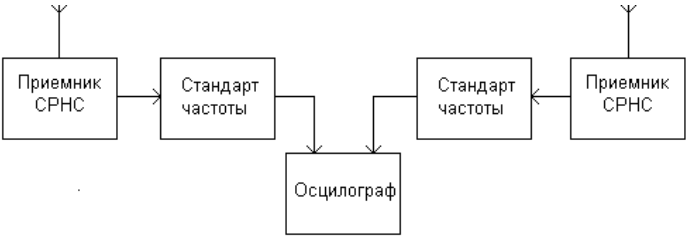


Рис. 1. Структурная схема одного комплекта системы единого времени

Для обеспечения долговременной стабильности по частоте на стандарт частоты подавался сигнал метки времени 1 Гц с приемника СРНС. При поступлении внешнего опорного сигнала 1 Гц с приемника СРНС частота рубидиевого перехода подстраивалась под частоту входного сигнала. Стандарт подстраивался по внешнему сигналу 1 Гц с постоянной времени от 8 мин до 18 ч, что уменьшало нестабильность входного сигнала путем усреднения.

В качестве приемника спутниковых навигационных сигналов использовался полнофункциональный, 12-канальный GPS приемник Resolution™ T фирмы Trimble.

Приемник Resolution™ T обеспечивал высокую временную стабильность в пределах 15 нс (СКО) относительно UTC или системного времени GPS, генерируемых синхроимпульсов частотой 1 Гц.

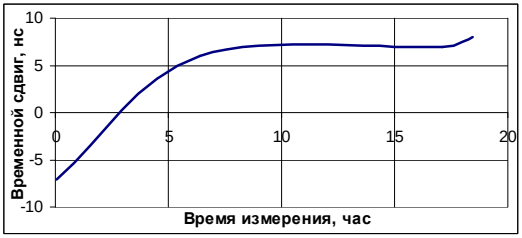
В качестве стандарта частоты использовался рубидиевый стандарт частоты FS725, который обеспечивал высокую точность по частоте выходных сигналов 10 МГц, 5 МГц, 1 Гц, малые фазовые шумы и нестабильность частоты.

Оценка точности создания шкалы единого времени проводилась по методу непосредственного сличения импульсных сигналов частотой 1 Гц с выхода стандартов частоты, подстраиваемых сигналами СРНС. Измерялся временной сдвиг между импульсными сигналами 1 Гц двух стандартов частоты за фиксированный интервал времени с помощью цифрового осциллографа LeCroy WS 64Xs.

Для проверки работоспособности схемы подстройки частоты рубидиевого стандарта производились измерения, при которых импульсный сигнал частотой 1 Гц с выхода одного стандарта подавался на вход второго, подстраивая его частоту. Длительность измерений составила 18 ч. Результат измерений отображен на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что существенные изменения временного сдвига между сигналами с выходов стандартов частоты 1 Гц происходят в шестичасовом интервале, что соответствует установленной постоянной времени фильтра.

Рис. 2. Зависимость временного сдвига между сигналами 1 Гц двух стандартов при подстройке первого вторым



Экспериментальные результаты, полученные за 110 ч при измерении временного сдвига секундных меток с выхода двух стандартов частоты в случае, когда оба стандарта подстраивались сигналами СРНС, приведены на рис. 3.

Максимальный временной сдвиг за это время составил 40 нс.

Рис. 3. Изменение временного сдвига между сигналами 1 Гц с выхода двух стандартов частоты при подстройке сигналами СРНС

Оценка точности для метода непосредственного сличения импульсных сигналов рассчитывалась по формуле

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{t_1 - t_2}{T_{12}}, \qquad (1)$$

где $t_{1,2}$ – временной сдвиг между сличаемыми частотами в моменты времени 1 или 2; T_{1-2} – интервал времени измерения.

Из рис. 3 рассчитанная по формуле (1) точность создания шкалы единого времени составляет $4 \cdot 10^{-13}$ за 24 ч. Таким образом, комбинация стандарта частоты FS725 и приемника СРНС представляет собой недорогое решение, позволяющее обеспечить высокую стабильность шкал времени при длительной непрерывной работе РТС.

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

Е.Ю. Дикий, Р.Р. Юлдашев, студенты 4-го курса, РТС

г. Томск, ТУСУР, т. 8-905-089-59-65, 4estor@mail2000.ru

Радиотехнический комплекс наземных источников излучения полигона НИИ РТС ТУСУР предназначен для обеспечения излучения

импульсных сигналов в дециметровом и сантиметровом диапазонах волн с целью использования этих сигналов для калибровки, юстировки и проверки параметров наземных и космических радиотехнических систем различного назначения.

Комплекс располагается на Коларовском радиофизическом полигоне НИИ РТС ТУСУР, который находится в 8 км к юго-западу от г. Томска. На рис. 1 показан район расположения полигона. Снимок сделан с помощью космической фотосъемки и позаимствован из [1].

Рис. 1. Фотоснимок района расположения полигона

Функциональная схема комплекса наземных источников излучения полигона НИИ РТС ТУСУР приведена на рис. 2.

В состав комплекса входят штатные радиолокационные станции (РЛС) дециметрового и сантиметрового диапазонов волн, имеющиеся в наличие у ТУСУР, и отдельные устройства, представляющие собой автоматизированные рабочие места (АРМ), выполняющие функции управления и контроля работой РЛС.

Включение и управление работой РЛС осуществляется с автоматизированного рабочего места № 1 (АРМ 1).

Система управления работой РЛС посредством команд с ЭВМ обеспечивает включение–выключение электропитания, включение-выключение РЛС, перезапуск передатчиков при сбоях, переключение режимов работы (наведение или круговое сканирование), включение резервных РЛС.

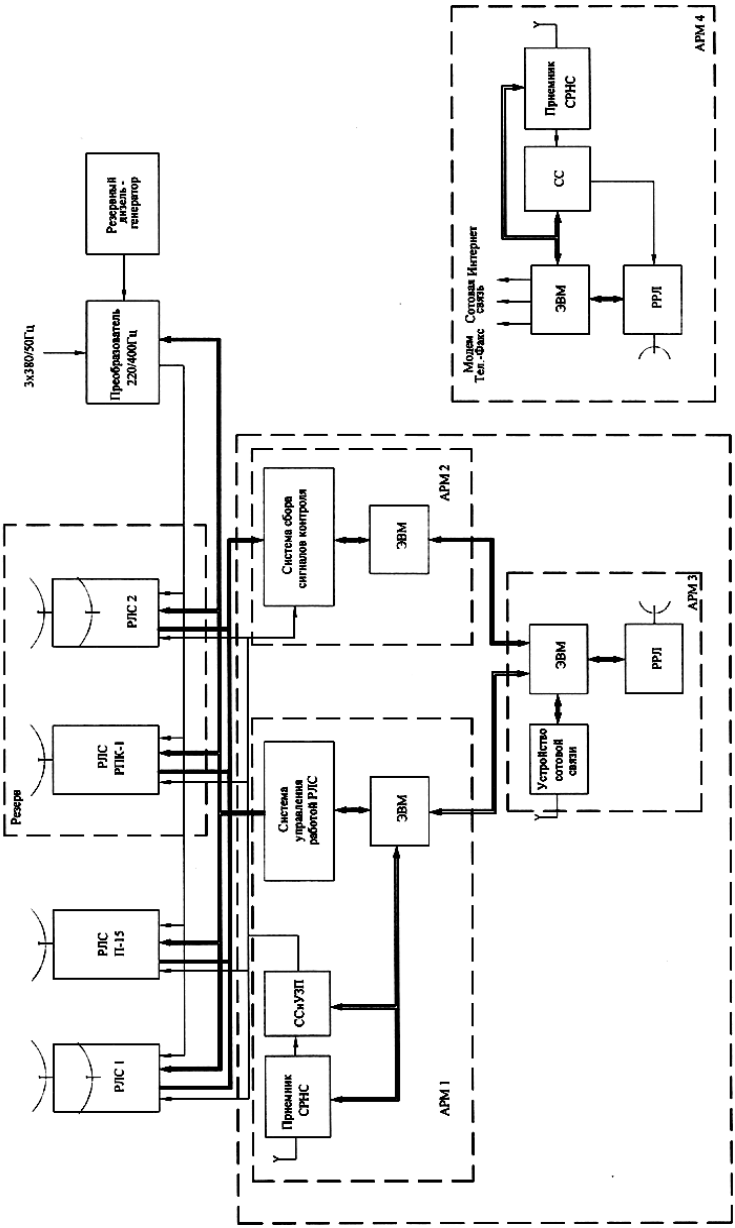


Рис. 2. Функциональная схема радиотехнического комплекса наземных источников излучения полигона НИИ РТС ТУСУР

Система синхронизации получает сигнал секундной метки с приемника СРНС и преобразует его в сигнал запуска передатчиков радиолокационных станций РЛС 1 и РЛС П-15. Установка заданной частоты импульсов запуска передатчиков с заданной ошибкой по моменту формирования осуществляется с помощью ЭВМ.

Радиолокационные станции излучают радиоимпульсы с установленной частотой повторения в различных частотных диапазонах. С системы синхронизации и устройства запуска передатчиков (СС и УЗП) импульсы запуска поступают в РЛС, а также на соответствующие входы системы сбора сигналов контроля автоматизированного места № 2 (АРМ 2). Так как излучаются стабильные «стандартизованные» сигналы, в передающем пункте необходимо обрабатывать следующие потоки информации: при частоте повторения излучаемого сигнала до 2 КГц измеряется задержка излученных импульсов различных диапазонов относительно строба синхронизации, контролируются его форма, амплитуда и спектр. Вычисляются дисперсии задержки времени излучения и амплитуды импульса. Задержка измеряется время-цифровым преобразователем (ВЦП) с разрешением 1 нс, форма импульса и его спектр – цифровыми осциллографами с буферными ЗУ и разрешением до 10 нс. Блоки для регистрации сигналов контроля разработаны по технологии виртуальных приборов компанией National Instruments и выполнены в промышленном стандарте систем сбора данных и управления на шине PXI. Кроме того, контролируется положение антенн и режим передатчиков.

С автоматизированного рабочего места № 3 (АРМ 3) обеспечивается дистанционная работа с автоматизированным рабочим местом № 4 (АРМ 4) по наземным каналам связи с помощью радиорелейных станций. ЭВМ АРМ 3 формирует файлы состояния станций и выдает команды на управление аппаратурой передачи данных, где производится переключение режимов работы «местный–дистанционный». В случае каких-либо сбоев в работе РРЛ для передачи сообщений используется дополнительный канал связи, реализованный с помощью устройства сотовой связи.

АРМ 4 обеспечивает прием команд на управление аппаратурой из внешней сети связи, передачу команд на полигонный пункт экспериментального комплекса наземных источников излучения, прием и анализ данных сигналов контроля РЛС.

Выполнение вышеперечисленных функций выполняет ЭВМ, подключенная к внешней сети связи Internet с помощью имеющейся в ТУСУР волоконной линии связи. Резервная высокоскоростная линия связи обеспечивается с помощью скоростного модема телефонной линии.

В случае отсутствия или неуверенного приема сигналов спутниковой системы навигации из-за электронной несовместимости на по-

лигонном пункте предусмотрена возможность передачи по наземному каналу связи РРЛ сигналов синхронизации с рабочего места АРМ 4, имеющего в составе приемник СРНС и систему синхронизации.

В результате разрабатываемый радиотехнический комплекс позволит решить задачи проверки параметров, калибровки, юстировки наземных и космических радиотехнических систем различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.google.com\maps.

МОДЕЛИ СИГНАЛОВ В ПАССИВНОЙ СИСТЕМЕ РАДИОМОНИТОРИНГА

В.А. Зорин, Н.В. Демаков, аспиранты каф. РТС,
В.А. Кураков, доцент каф. РТС
г. Томск, ТУСУР, bazz@sibmail.com

Проблема формирования моделей сигналов и формата обмена данными в системе радиомониторига. Особенности функционирования систем радиомониторинга таковы, что значительное влияние на эффективность работы оказывают принятые правила организации обмена и передачи данных [1–4]. Работоспособность системы определяется согласованным обменом информацией между ее частями. Правильное задание формата обмена данными в значительной степени определяется решаемыми задачами и моделями используемых сигналов.

Модели сигналов. Система радиомониторинга обеспечивает:

– поиск, обнаружение и определение координат источников радиоизлучения;

– измерение параметров радиоизлучений;

– протоколирование загрузки исследуемого диапазона.

Обнаруженные сигналы классифицируются по ряду признаков. Для рассматриваемой системы наиболее информативными параметрами являются следующие:

1) направление прихода сигнала;
2) несущая частота;
3) амплитуда импульса;
4) время начала импульса;
5) длительность импульса;
6) длительность нарастания и спада сигнала;
7) внутриимпульсная модуляция.

Разделение сигналов по вышеописанным параметрам позволяет выполнить их группировку по источникам радиоизлучения. Наиболее

информативными параметрами являются направление прихода сигнала и частота.

Для всех перечисленных параметров должны быть определены модели погрешностей измеряемых параметров. Рассматриваемые признаки представляются в виде случайных процессов с заданными статистическими характеристиками. Для описания случайных процессов в данной работе используются следующие законы распределения вероятностей: гауссовский, равномерный и релеевский. Параметры рассматриваемых случайных процессов определяются техническими характеристиками используемой аппаратуры, особенностями распространения и приема сигналов.

С целью повышения устойчивости работы системы радиомониторинга в модели введены аномальные погрешности и случайные пропадания сигналов.

Краткое описание формата данных. В результате измерения параметров принятого радиоимпульса формируется паспорт импульса, представляемый как совокупность следующих параметров: направление прихода сигнала, несущая частота, амплитуда импульса, время начала импульса, длительность импульса, длительность нарастания сигнала, длительность спада сигнала, внутриимпульсная модуляция.

На основе паспортов импульсов формируется паспорт сигнала источника радиоизлучения, состоящий из набора параметров: номер сигнальной последовательности, пеленг, угол места и время.

На заключительном этапе формируется паспорт источника, содержащий трехмерные декартовы координаты и время.

Выводы:

1. Исходя из особенностей решаемой задачи, определены модели используемых сигналов в пассивной системе радиомониторинга.

2. Знание моделей сигналов и формата обмена данными позволяет определить требования к каналам передачи данных и в дальнейшем модернизировать работу системы радиомониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. М.: Горячая линия. Телеком, 2006. 492 с.

2. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Рембовский Ю.А. Управление аппаратурой и режимы работы портативной системы радиомониторинга и определения местоположения источников радиоизлучения // Специальная техника. 2005. № 3. С. 42–48.

3. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Коровин А.Г., Рембовский Ю.А. Распределенные системы радиомониторинга и пеленгования // Специальная техника. 2006. № 5. С. 38–53.

4. Партала А.Н. Методы обработки сигналов в пассивных радиоэлектронных системах // Зарубежная радиоэлектроника. 1991. № 6. С. 3–22.

СЕКЦИЯ 2

ЗАЩИЩЕННЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

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

СИСТЕМА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОЧАСТОТНЫХ МОДУЛЕЙ НА БАЗЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Д.В. Беклемышев, Е.Н. Мизев,
В.Ю. Саяпин, студенты 4-го курса, каф. РТС
г. Томск, ТУСУР, gol@rts.tusur.ru

Система обработки построена на основе комбинированного прибора АСК-4106 который может использоваться в качестве универсального измерительного комплекса. Совмещая под единым управлением компьютерной программы источник испытательных сигналов и прибор для их измерения, АСК-4106 позволяет в автоматическом режиме измерять амплитудно-частотные, амплитудные, фазочастотные и переходные характеристики испытываемого устройства. Это позволяет нам создать аппаратно-программное средство защиты информации в сетях и системах радиосвязи, дающее возможность заниматься обработкой результатов измерения характеристик радиочастотных модулей на базе виртуального прибора.

Сформулируем задачу. Пусть имеется некое радиоэлектронное устройство с одним аналоговым входом и одним аналоговым выходом, которое представлено в виде «черного ящика» (ЧЯ), внутреннее устройство которого, в общем случае, неизвестно (недоступно или не имеет значения для данного процесса). Требуется определить его характеристики. Упрощенная схема измерения этих характеристик выглядит следующим образом (рис. 1).

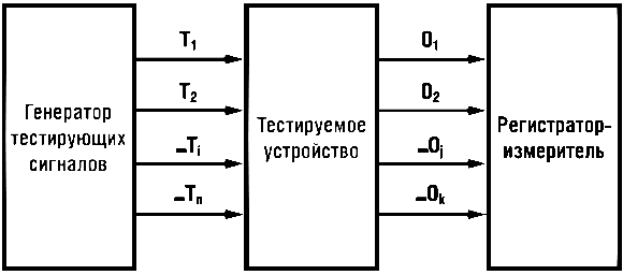


Рис. 1. Блок-схема измерения характеристик «черного ящика»

На вход ЧЯ (исследуемого изделия) с выхода соответствующего генератора подается воздействие в виде тестирующего сигнала с необходимыми параметрами (T1, T2,..., Ti). С выхода ЧЯ с помощью соответствующего регистратора (измерителя) снимается результат такого воздействия – отклик (O1, O2,..., Ok) и анализируются числовые значения выбранного параметра или характеристики. На рис. 2 показан макет измерительной системы на базе комбинированного прибора АСК-4106.

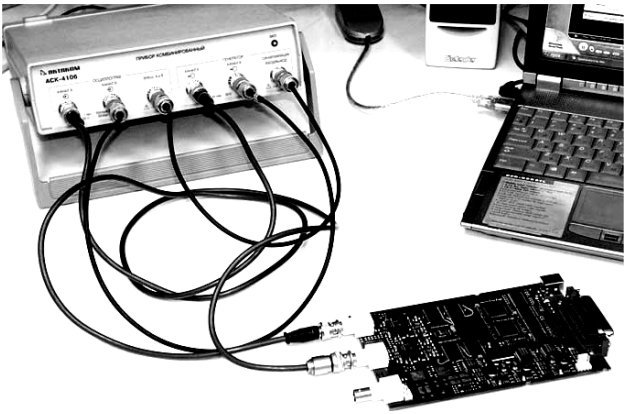


Рис. 2. Макет системы для измерения характеристик устройства

Ко входу ЧЯ подключен выход канала А модуля генератора сигналов АСК-4106, а выход ЧЯ – ко входу канала А модуля осциллографа. Таким образом, подавая с помощью генератора различные испытательные сигналы (ИС), можно увидеть реакцию исследуемого устройства. Для того чтобы скомпенсировать собственные искажения прибора (например, неравномерность АЧХ осциллографа), будем также подавать тот же испытательный сигнал с канала В генератора напрямую

на канал В осциллографа. Теперь, сравнивая измеренные сигналы по обоим каналам, обнаружим только влияние ЧЯ (пренебрегая тонкими различиями между каналами прибора).

Для получения достаточно полной картины свойств испытываемого устройства необходимо провести большое количество измерений при различных параметрах тестового сигнала. Соответственно программа измерительного комплекса должна обеспечивать пользователя средствами описания такой последовательности сигналов для проведения всего комплекса испытаний «списком». В программе АСК-4106 для этой цели вводится понятие траектории измерений, представляющей собой последовательность точек измерений. Каждая точка измерений – это совокупность нескольких величин: частоты повторения испытательного сигнала, размаха напряжения, шаблона формы и флага использования этой точки при измерениях. Шаблон формы задает характер испытательного сигнала: синус, прямоугольник, дельта-импульс или любая произвольная форма. Флаг использования позволяет включать или исключать данную точку из текущей серии измерений, не удаляя ее из траектории.

Подключив тестируемый ЧЯ к прибору и задав требуемую траекторию измерений, можно переходить непосредственно к процессу испытаний. Программа позволяет запустить измерения в автоматическом или пошаговом (полуавтоматическом) режиме. В обоих режимах программа последовательно генерирует ИС, задаваемые очередной точкой траектории измерений (шаг измерений). На каждом шаге измерений программа автоматически устанавливает длину буфера данных и скорость развертки осциллографа в соответствии с периодом повторения ИС в текущей точке измерений так, чтобы оказались захваченными несколько периодов ИС с достаточным временным разрешением. Далее автоматически подбираются оптимальные величины усиления и смещений по обоим измеряемым каналам и проводится несколько настроечных захватов сигнала. После настройки осциллографа производится результативный захват осциллограмм, по которым далее будут осуществляться вычисления. Все осциллограммы, получаемые для настройки и для результативных измерений, отображаются по мере захвата на вкладке «Форма» главного окна программы (рис. 3).

Изображения осциллограмм нужны только для визуального контроля оператором качества настройки прибора на сигнал. Определение численных параметров измеренных сигналов проводится автоматически: программа сама выделяет в собранных данных целое число периодов повторения ИС, по каждому найденному периоду вычисляет размах сигнала, его среднеквадратическое значение, частоту и фазу, затем полученные величины усредняются по всем периодам. Результа-

ты измерений сохраняются в таблице данных и отображаются в главном окне программы. Автоматический и полуавтоматический режимы отличаются только тем, что в пошаговом режиме программа после каждого шага измерений и вывода результатов останавливается и ожидает команды пользователя для начала следующего шага измерений, давая возможность не спеша ознакомиться с полученными результатами. В автоматическом режиме переход к следующему шагу производится сразу, без дополнительного подтверждения.

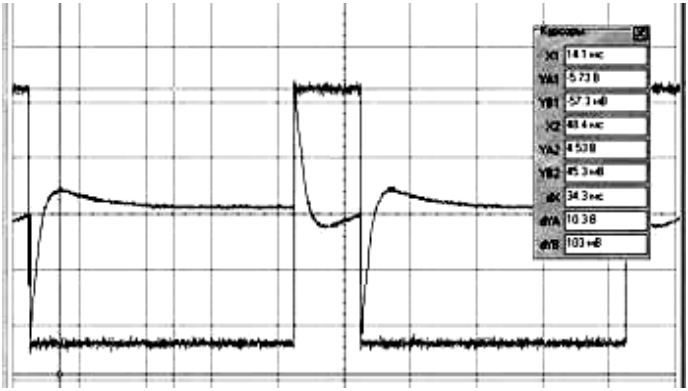


Рис. 3. Наблюдение осциллограмм измерений

Зависимость среднеквадратического значения (СКЗ) амплитуды выходного сигнала от частоты входного сигнала (амплитудно-частотная характеристика, АЧХ) изображается на вкладке «Частотные» (рис. 4). Ось значений этого графика может работать в двух режимах.

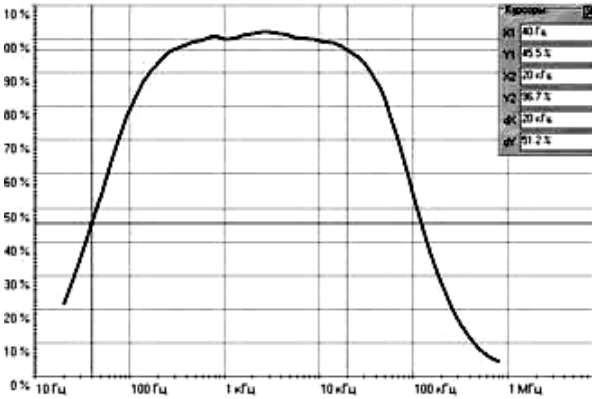


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика

В первом режиме по этой оси откладывается измеренная величина коэффициента усиления (отношение СКЗ выходного сигнала к СКЗ входного сигнала) в линейном или логарифмическом масштабе. Во втором режиме дополнительно включается возможность использования опорного уровня. При этом выводится отношение измеренного в данной точке коэффициента усиления к некоторому фиксированному уровню, либо к уровню, определенному на указанной частоте, либо к уровню, введенному в явном виде. На вкладке «Амплитудные» (рис. 5) отображается зависимость среднеквадратического значения амплитуды выходного сигнала от среднеквадратического значения амплитуды входного сигнала (амплитудная характеристика).

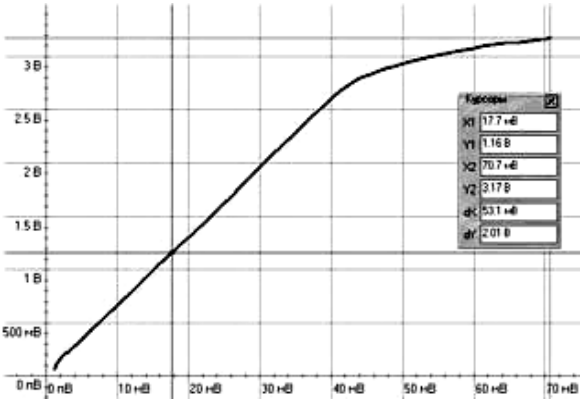


Рис. 5. Амплитудная характеристика

Если текущая траектория измерений служит для измерения АЧХ и амплитуда входного сигнала поддерживается постоянной во всех измеряемых точках, этот график будет не слишком наглядным, представляя собой вертикальную линию. В этом случае пользователь может запретить программе строить ненужный график. Это же относится и к графикам АЧХ и ФЧХ при измерении амплитудной характеристики (когда измерения проводятся при фиксированной частоте ИС). Фазочастотная характеристика (ФЧХ) отображается на графической вкладке «Фазовые» (рис. 6).

На этом графике выводится зависимость величины угла сдвига фаз выходного сигнала относительного входного от частоты входного ИС. Величины углов могут по выбору пользователя отображаться в градусах, радианах, градиентах или в долях полного круга. Программа позволяет выбрать один из трех методов определения фазового сдвига: геометрический, метод «косинуса потерь» и спектральный.

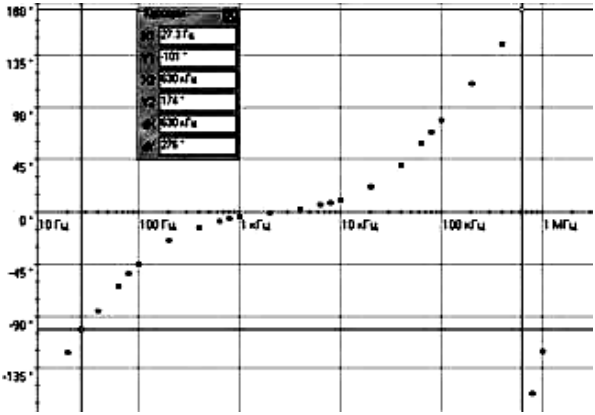


Рис. 6. Фазочастотная характеристика

При использовании геометрического метода определяются моменты перехода сигнала через его среднее значение. Поэтому если, например, на вход ЧЯ подается синусоидальный сигнал, а на выходе наблюдается тот же синус, но ограниченный сверху или снизу, величина сдвига фаз будет искажаться за счет смещения средней линии. В этом случае целесообразнее использовать спектральный метод. При этом программа с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье раскладывает исследуемые сигналы в спектр, определяет главные гармоники (по условию максимума амплитуды) и показывает разность фаз между ними. Если устройство (ЧЯ) кардинально изменяет форму ИС, можно попытаться определить величину сдвига фаз на основе формулы мощности потерь. Здесь слово «определить» надо понимать не только как «найти», но и как «дать определение». Действительно, что считать сдвигом фаз для сигналов, изображенных на рис. 7.

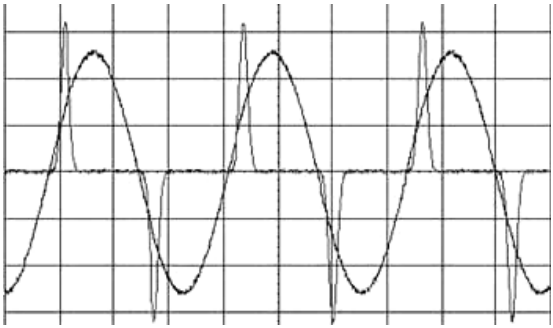


Рис. 7. Определение сдвига фаз для сигналов разной формы

А между тем этот рисунок – иллюстрация к реальной задаче определения сдвига фаз между сигналами напряжения и тока при измерении параметров петли гистерезиса магнитопроводов.

Для изучения переходных характеристик испытываемых устройств можно либо просто воспользоваться курсорными измерениями на графике формы сигналов либо дополнительно использовать возможности автоматических измерений модуля анализа формы сигнала (рис. 8).

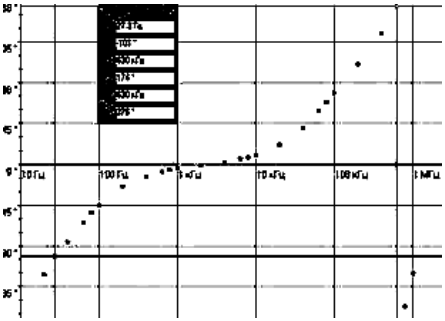


Рис. 8. Спектральный анализ сигналов

Этот модуль объединяет возможности спектрального анализа (разложение сигналов в гармонические ряды, изображение спектров сигналов и их параметров: частот и амплитуд гармоник, коэффициента нелинейных искажений) и алгоритмов автоматического определения параметров импульса (частоты, длины импульса, времени нарастания и спада, величины выброса и т.д.). Таким образом, совмещение в едином приборе источника испытательных сигналов и прибора для наблюдения и измерения выходных параметров исследуемого электронного устройства превращает АСК-4106 в мощную наладочную и измерительную станцию при экономии пространства на рабочем месте. Преимуществами этого высокопроизводительного измерительного комплекса являются: универсальность – комплекс позволяет измерять одновременно амплитудно-частотные, амплитудные, фазочастотные и переходные характеристики; гибкость – возможно использование самых разных испытательных сигналов, начиная от стандартных форм и заканчивая произвольно нарисованными, при этом возможно также использование в качестве испытательных реально измеренных сигналов, записанных этим же прибором в режиме осциллографа; автоматизация – весь цикл измерений по однажды заданной траектории измерений может проводиться без участия оператора.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.kip.tomsk.ru/devices/

УЧЕБНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ AES И LEX

Е.А. Большанина, студентка 4-го курса, каф. РТС
г. Томск, ТУСУР, gol@rts.tusur.ru

Целью данной работы является создание программного комплекса для изучения стандартов AES и LEX. Создание программного комплекса ведется с целью дальнейшего проведения лабораторных работ по изучению этих стандартов, т.к. программа позволяет самостоятельно провести шифрование и дешифрование, зная способ шифрования, позволяет пошагово отследить сам процесс.

Стандарт криптографической защиты AES (Advanced Encryption Standard – усовершенствованный стандарт шифрования) является на сегодняшний момент наиболее надежным с точки зрения длины ключа и, как следствие, наиболее востребованным. Стандарт AES пришел на смену стандарту DES, так как 56-битный ключ DES оказался недостаточен, при современных вычислительных ресурсах, при вскрытии методом «грубой силы» (перебором всех возможных вариантов ключа шифрования). В 1997 г. Институт стандартов и технологий США NIST объявил о проведении открытого конкурса алгоритмов шифрования, победитель которого должен был стать новым стандартом симметричного шифрования США. В конкурсе могли принять участие любые организации или частные лица, в том числе находящиеся за пределами США. Победителем конкурса оказался алгоритм Rijndael. Данный алгоритм позволяет шифровать данные блоками 128, 192, 256 бит. Количество раундов шифрования зависит от размера ключа (128, 192, 256 бит) и от размера блока данных.

Алгоритм шифрования AES имеет архитектуру квадрат. В общем виде шифрование по алгоритму AES проходит следующим образом. Сначала производится операция ByteSub (замена байтов). Затем производится ShiftRow (сдвиг строк), которая выполняет циклический сдвиг влево всех строк массива данных, за исключением нулевой. Следующей операцией является MixColomn (смешивание столбцов). Последней проводится операция AddRoundKey (добавление раундового ключа), которая выполняет наложение на массив данных материала ключа.

Алгоритм LEX использует AES в исходном виде: в каждом раунде AES производится 4 байта из промежуточных переменных. Может быть использован AES со всеми тремя возможными длинами ключа (128, 192, 256). Отличие от AES заключается в том, что криптоаналитик никогда увидит все 128 бит зашифрованного текста, а только часть промежуточного состояния. Подобный принцип может быть применен к любому другому блочному шифру. Считается, что LEX в состоянии

выполнять все операции примерно в 2,5 раза быстрее, чем AES в программных и аппаратных средствах.

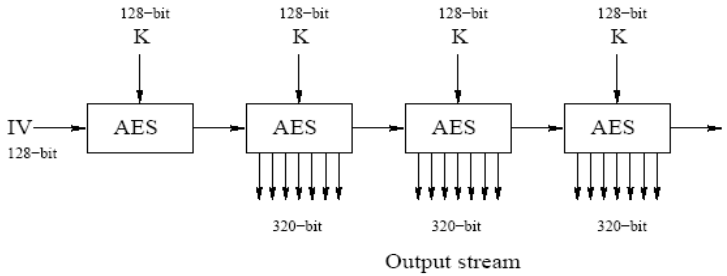


Рис. 1. Инициализация и генерация ключевого потока

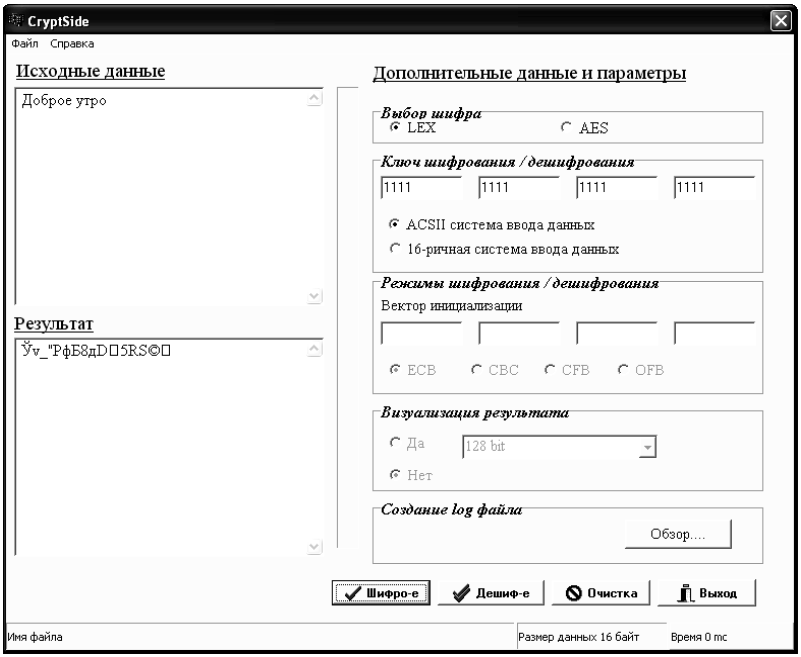


Рис. 2. Внешний вид программного комплекса CryptSide

Программа позволяет:

1) открывать файлы и шифровать их;
2) вводить данные с клавиатуры;
3) вводить ключа шифрования и данных в двух различных системах;

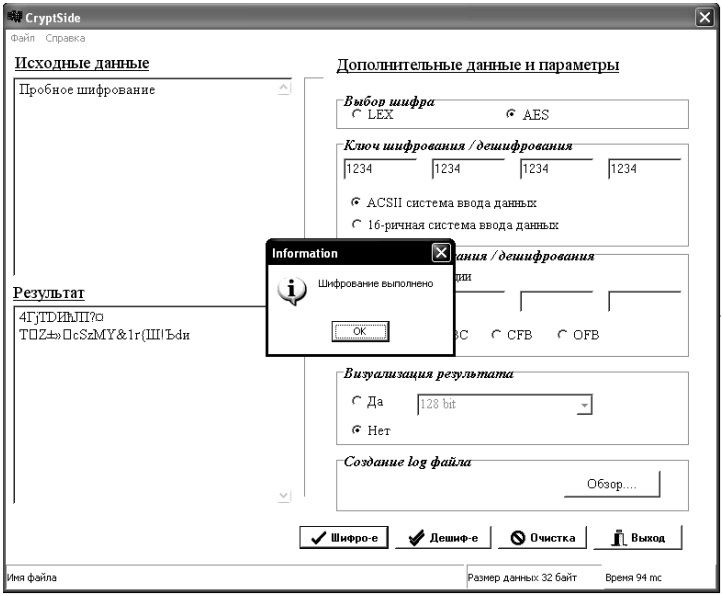


Рис. 3. Результат шифрования

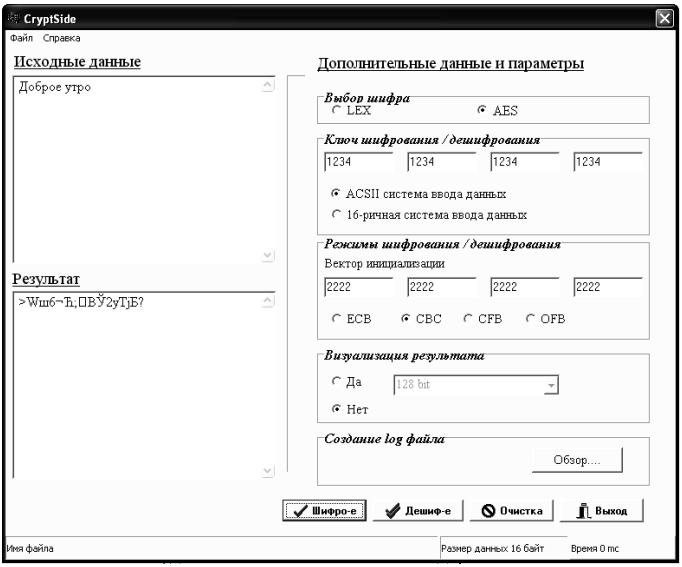


Рис. 4. Шифрование в режиме CBC

4) поддерживать 4 различных режима шифрования;

5) сохранять результат шифрования.

6) исследовать режимы шифровании. Для этого предусмотрено отображение 128, 256, 512 и 1024 первых бит, что соответствует 1, 2, 3 и 4 блокам данных;

7) создать log-файл. Это необходимо для исследования студентами особенностей стандарта AES. Испытание пораундовой работы алгоритма можно проводить следующим образом:

• Открыть любой файл.

• Нажать кнопку «Обзор», указать имя лог-файла и папку, в которой необходимо его создать.

• Зашифровать/расшифровать выбранный для эксперимента файл.

• Используемое оборудование – компьютер Intel Celeron 333 МГц, 160 МБ ОЗУ, ОС Windows XP.

• Результаты испытаний.

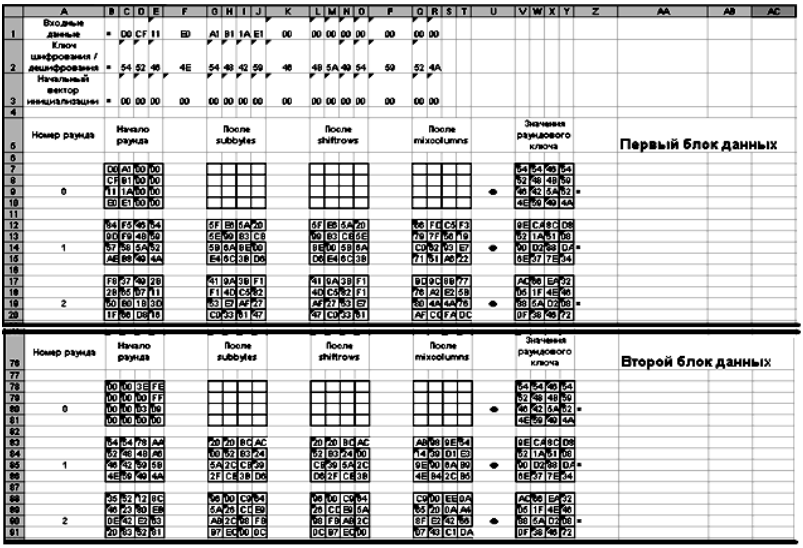


Рис. 5. Поэтапное шифрование первых блоков текста (лог-файл)

Получившийся программный комплекс имеет интуитивно понятный интерфейс, позволяет производить шифрование и дешифрование в соответствии с алгоритмами LEX и AES. Также имеется функция создания log-файла, который позволяет пошагово отследить шифрование введенных данных. Данный программный комплекс позволяет работать с любым форматом файлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. AES Round 1 Information // http://csrc.nist.gov – January 26. 2001.
2. Зензин О.С., Иванов М.А. Стандарт криптографической защиты – AES. Конечные поля. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2002. 176 с.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ И ИНФОРМИРОВАНИЯ О ПРИБЛИЖЕНИИ ГРОЗОВОГО ФРОНТА

П.А. Горшунов, А.В. Нема, А.А. Слабух,
А.Р. Якупов, студенты 4-го курса, каф. РТС,
В.А. Кураков, рук. проекта, доцент каф. РТС
г. Томск, ТУСУР, eskel@bk.ru

Целью данной работы является создание системы мониторинга состояния атмосферы и информирования о приближении грозового фронта.

Атмосферные процессы носят глобальный характер, для их изучения и предсказания необходимы сведения о погоде по всей планете. Метеорологические условия (погода) оказывают огромное влияние на многие стороны человеческой деятельности. Всеобщее внимание привлекают такие стихийные бедствия, как засухи, катастрофические наводнения и лавины. Порой они поражают хозяйства целых стран и нередко сопровождаются человеческими жертвами. Значительный урон различным отраслям хозяйства наносят менее грозные, но зато более частые явления погоды – гололед, заморозки, туман, метели, снежные заносы, сильные ливни, грозы, град, шквалы, пыльные бури.

Именно это и послужило идеей создания данного проекта. В исходной постановке задача анализа ветровых возмущений является этапом создания системы оповещения о приближении грозового фронта.

В последние несколько лет в Интернете появилось множество сайтов, публикующих прогнозы погоды, и эти прогнозы стали широко использоваться средствами массовой инофрмации (радио, ТВ, новостные Интернет-порталы).

При этом совершенно не учитывается тот факт, что публикуемые в интернете прогнозы в значительном числе случаев являются «сырыми» результатами автоматизированных компьютерных расчетов и в ряде случаев довольно сильно расходятся с реально наблюдаемой погодой (отличия в температуре достигают порой 5...8°, вместо солнечной погоды прогнозируется «пасмурно» и т.д.).

Поэтому многие прогнозы, публикуемые в СМИ (кроме крупных федеральных каналов), невысоки по качеству и вызывают справедливое недовольство у пользователей.

По этой причине спасательные службы МЧС не могут полностью опираться на такие данные. Для подобных целей необходим более подробный и оперативный источник. В Томске не единожды случались ураганы, повлекшие за собой огромный материальный ущерб, который возможно было кратно уменьшить, проинформировав вовремя городские службы и население о реальной штормовой ситуации.

Для решения задачи мониторинга состояния атмосферы разработан программно-аппаратный комплекс.

Особенности комплекса:

1. Данные поступают со всемирных погодных центров.
2. Система предполагает возможность получения метеоданных для любой точки планеты. Для этого необходимо будет просто ввести координаты интересующей области.
3. В отличие от большинства метеосайтов существует возможность развертки состояния атмосферы по высоте. Пользователь сможет получить данные не только о приземном слое атмосферы, но и ее состоянии на требуемой высоте (до 20 км).
4. Контроль за состоянием атмосферы производится автоматически. У оператора не возникает необходимость неотрывно следить за монитором, а в случае каких-либо активных возмущений система оповещает пользователей.
5. Данные от распределенной сети метеодатчиков позволяют в реальном масштабе времени выполнять мониторинг состояния атмосферы.
6. Данные предоставляются в различных видах: таблицы, аэрологические диаграммы и метеограммы.

Разработанное программное обеспечение имеет удобный интерфейс, но требует квалифицированного специалиста для настройки.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ ГОСТ 28147–89 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА

Д.С. Хохол, студент 4-го курса, каф. РТС

г. Томск, ТУСУР, gol@rts.tusur.ru

Данная работа посвящена разработке программно-аппаратного комплекса, реализующего российский стандарт шифрования ГОСТ 28147–89 на базе цифрового сигнального процессора. В настоящее время остро стоит проблема обеспечения конфиденциальности информации при ее передаче или хранении. Одним из способов ее реше-

ния является аппаратное шифрование, которое позволяет получить более высокую надежность и ряд других преимуществ перед чисто программным шифрованием.

Отечественный алгоритм криптографического преобразования ГОСТ 28147–89 предназначен для программной или аппаратной реализации. Программные шифраторы, как правило, дешевле аппаратных и в ряде случаев способны обеспечить большую скорость обработки информации, но перечень достоинств аппаратных шифраторов значительно шире:

• аппаратная реализация криптоалгоритма гарантирует его целостность;

• шифрование и хранение ключей осуществляются в самой плате шифратора, а не в оперативной памяти компьютера;

• аппаратный датчик случайных чисел создает действительно случайные числа для формирования надежных ключей шифрования и электронной цифровой подписи;

• на базе аппаратных шифраторов можно создавать системы защиты информации от несанкционированного доступа и разграничения доступа к компьютеру;

• применение специализированного шифропроцессора для выполнения криптографических преобразований разгружает центральный процессор компьютера; возможна также установка на одном компьютере нескольких аппаратных шифраторов, что еще более повышает скорость обработки информации (это преимущество присуще шифраторам для шины PCI);

• использование парафазных шин в архитектуре шифрпроцессора исключает угрозу снятия ключевой информации по возникающим в ходе криптографических преобразований колебаниям электромагнитного излучения в цепях «земля – питание» микросхемы.

Также аппаратные шифраторы выигрывают у соответствующего по свойствам криптографического программного обеспечения за счет того, что сами алгоритмы хранятся в шифраторе (их невозможно изменить из компьютера, на котором установлен этот шифратор), он имеет свою память под ключи шифрования, свой журнал событий и, главное, аппаратный датчик (генератор) случайных чисел (ДСЧ). Случайное число необходимо для генерации ключей шифрования, и от того, насколько каждое значение этого числа равновероятно, зависит стойкость получаемого шифра, в программных шифраторах ДСЧ – часть кода и он выдает псевдослучайные числа.

Сам же алгоритм шифрования ГОСТ 28147–89 – советский и российский стандарт симметричного шифрования, введенный в 1990 г. Полное название – «ГОСТ 28147–89. Системы обработки информации.

Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования».

Криптоалгоритм ГОСТ 28147–89, как и большинство шифров первого поколения, разрабатывавшихся в 70-е годы и в первой половине 80-х, базируется на архитектуре «сбалансированная сеть Файстеля» (balanced Feistel network). Основным принципом этой архитектуры является то, что весь процесс шифрования состоит из серии однотипных раундов. На каждом раунде шифруемый блок T делится на две части (**T**0,**T**1), одна из которых модифицируется путем побитового сложения по модулю 2 со значением, вырабатываемым из другой части и ключевого элемента раунда с помощью функции шифрования. Между раундами части блока меняются местами, и, таким образом, на следующем раунде текущий измененный блок станет неизменным и наоборот. Схема алгоритма шифрования по ГОСТ 28147–89 приведена на рис. 2. $f(X_i, k_i)$ – раундовая функция шифрования, X_i – состояние процесса шифрования после i-го раунда. Подобная архитектура позволяет легко получить обратимое криптографическое преобразование из сложной и, возможно, необратимой функции шифрования. Важной особенностью этого подхода является то, что за раунд шифруется ровно половина блока.

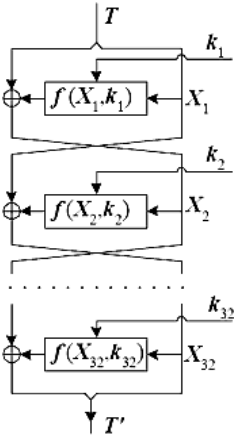


Рис. 1. Схема алгоритма шифрования ГОСТ 28147–89

Фактически программная реализация алгоритма шифрования – компьютерная программа, написанная на каком-либо языке программирования (в нашем случае – на C++).

С аппаратной частью все посложнее. Аппаратная часть представляет собой компьютерное «железо», все прелести которого указаны выше. Яркий пример аппаратной реализации – Rutoken. Электронный идентификатор Rutoken – персональное устройство доступа к информационным ресурсам, полнофункциональный аналог смарт-карты, выполненный в виде USB-брелока. Rutoken предназначен для безопасного хранения и использования паролей, цифровых сертификатов, ключей шифрования и ЭЦП.

В нашем же случае необходимо реализовать алгоритм шифрования ГОСТ 28147–89 на цифровых сигнальных процессорах (ЦСП). ЦСП – высокоскоростная плата, которая имеет возможность присоединиться к персональному компьютеру. Для детального программиро-

вания работы данной платы компанией-производителем была разработана специальная программа для написания алгоритма работы ЦСП, именуемая Visual DSP. Для удобства программиста данная программа поддерживает языки программирования Си и Ассемблер.

На сегодняшний момент работа находится на стадии отладки программной реализации, ведется работа по переносу программного кода с C++ на Visual DSP.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 28147–89. Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования. М.: Госстандарт СССР, 1989.

2. Вальпа О.Д. Разработка устройств на основе цифровых сигнальных процессоров фирмы Analog Devices с использованием Visual DSP++. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 270 с.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ AES НА DSP

М.В. Иванченко, студент 4-го курса, каф. РТС

г. Томск, ТУСУР, gol@rts.tusur.ru

Целью данной работы является создание лабораторного комплекса для реализации стандарта криптографической защиты AES на аппаратном шифраторе с использованием цифрового сигнального процессора.

Advanced Encryption Standard (AES), также известный как Rijndael – симметричный алгоритм блочного шифрования (размер блока 128 бит, ключ 128/192/256 бит. Rijnael это блочный шифр с различной длиной блока шифрования и длиной ключа. Процедура SubBytes() обрабатывает каждый байт состояния, независимо производя нелинейную замену байтов, используя таблицу замен (S-box). Такая операция обеспечивает нелинейность алгоритма шифрования. ShiftRows работает со строками State. При этой трансформации строки состояния циклически сдвигаются на r байт по горизонтали, в зависимости от номера строки. В процедуре MixColumns четыре байта каждой колонки State смешиваются, используя для этого обратимую линейную трансформацию. MixColumns обрабатывает состояния по колонкам, трактуя каждую из них как полином четвертой степени. Операция AddRoundKey выполняет наложение на массив данных материала ключа.

Процессор ADSP-2106x – высокопроизводительный 32-разрядный цифровой сигнальный процессор – является представителем семейства ADSP-21000. Он может использоваться для обработки речи, звука,

графики и др. Для формирования полноценной системы на кристалл добавлены двухпортовое статическое оперативное запоминающее устройство (SRAM) и интегрированные периферийные устройства ввода/вывода (Input/Output – I/O), которые работают со специализированной шиной I/O. Процессор может выполнять почти все команды за один цикл, используя расположенный на кристалле кэш команд. Супергарвардская архитектура процессора ADSP-2106x включает четыре независимых шины для операций с данными, командами и для ввода-вывода, а также коммутатор шин.

В процессоре ADSP-2106x реализуется новый уровень интеграции для цифровых сигнальных процессоров, который заключается в комбинации высокопроизводительного ядра цифрового сигнального процессора с плавающей точкой с интегрированными на кристалл устройствами: интерфейсом хост-процессора (хост-интерфейс), контроллером прямого доступа в память (DMA), последовательными портами, линк-портами. Кроме того, в процессоре существует возможность создания многопроцессорных сетей с применением прямого соединения шин без дополнительного оборудования.

Аппаратная часть шифропроцессора обычно представляет собой либо плату расширения для ПЭВМ (для шин ISA, PCI), либо отдельный автономный блок. В данной работе в качестве аппаратной части используется плата производства Analog Devices – ADSP EZ-KIT Lite (Evaluation Kit for the TigerSHARC Processor). Данная плата обрабатывать информацию может как автономно, так и с использованием для управления ПЭВМ. Данная плата является универсальным устройством, позволяющим реализовывать различные устройства, например: цифровые фильтры, спектрографы, шифраторы и т.д. Для этого в ее составе, помимо цифрового сигнального процессора, также имеется: аналогово-цифровой преобразователь, цифроаналоговый преобразователь, два вида памяти – SDRAM и Flash Memory (последняя имеет меньший размер и используется для хранения различных загрузочных модулей), различные разъемы – USB, Stereo Jack, JTAG Interface (с помощью него можно отлаживать работу платы через VisualDSP, установленной на компьютере), некоторое количество сигнальных светодиодов и переключателей и др.

Аппаратные шифраторы позволяют обеспечивать высочайший уровень шифрования информации для предотвращения утечки и утраты информации и, соответственно, минимизации материального и морального ущерба. AES-шифратор, как криптографический средство нового поколения, обеспечит надежное шифрование информации и гарантию полной информационной безопасности. Стандарт криптографической защиты AES (Advanced Encryption Standard – усовершен-

ствованный стандарт шифрования) является на сегодня наиболее надежным с точки зрения длины ключа и, как следствие, наиболее востребованным. Аппаратный шифратор, помимо основных возможностей, насыщен такими дополнительными опциями:

- Генерация случайных чисел.
- Контроль входа на компьютер.
- Контроль целостности файлов операционной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочное руководство по архитектуре процессора Analog Devices ADSP. http://www.analog.com/

2. Аппаратные шифраторы. http://www.osp.ru/

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЕР ПО ТЕМЕ «СЕТИ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ»

В.М. Винокуров, к.т.н., доцент,
В.В.Кузнецов, студент 5-го курса, ТОР
г. Томск, т. 413-398, VinokurovVM@tor.tusur.ru

К настоящему времени в мире наблюдается устойчивая тенденция перехода от сетей с коммутацией каналов (Switched Circuit Network, SCN) к сетям коммутации пакетов (Packet-Based Network, PBN), которые получили общее название – сети следующего поколения (**N**ext **G**eneration **N**etworks, **NGN**). Причины такого явления следующие.

• Необычайно высокие темпы роста передачи данных за счет пользователей Интернет, хотя основной доход по-прежнему приносят и будут приносить услуги, связанные с передачей речи.

• Рост речевого трафика через Интернет, обусловленный меньшей стоимостью традиционных услуг по сравнению с аналогичными услугами в сети с коммутацией каналов.

• Легкость введения и модернизации новых услуг, позволяющая строить сети интегрального обслуживания. Следует отметить, что и существующая узкополосная цифровая сеть интегрального обслуживания (ЦСИО, N-ISDN – Narrowband Integrated Services Digital Network) в основном удовлетворяет потребности абсолютного большинства пользователей, однако в сети с коммутацией пакетов потенциально те же услуги реализуются проще и дешевле.

• Постоянное наращивание пропускной способности, что потенциально предоставляет неограниченные возможности для введения новых услуг и повышения качества обслуживания.

Очевидно, что в течение длительного времени операторами сети будет востребовано оборудование, способное транспортировать рече-

вой трафик через IP-сеть. Поэтому все ведущие производители коммутационного оборудования заняты поиском поэтапного перехода от существующих сетей PSTN/ISDN к сети коммутации пакетов [1].

Изучение сетей следующего поколения является актуальным для специальностей образовательного направления «Телекоммуникации». Появилась необходимость создания компьютерных лабораторных работ, дающих более глубокие знания об архитектуре, оборудовании, основных протоколах, используемых в сетях NGN.

Лабораторный практикум, названный компьютерным тренажером, состоит из трех лабораторных работ (рис. 1).

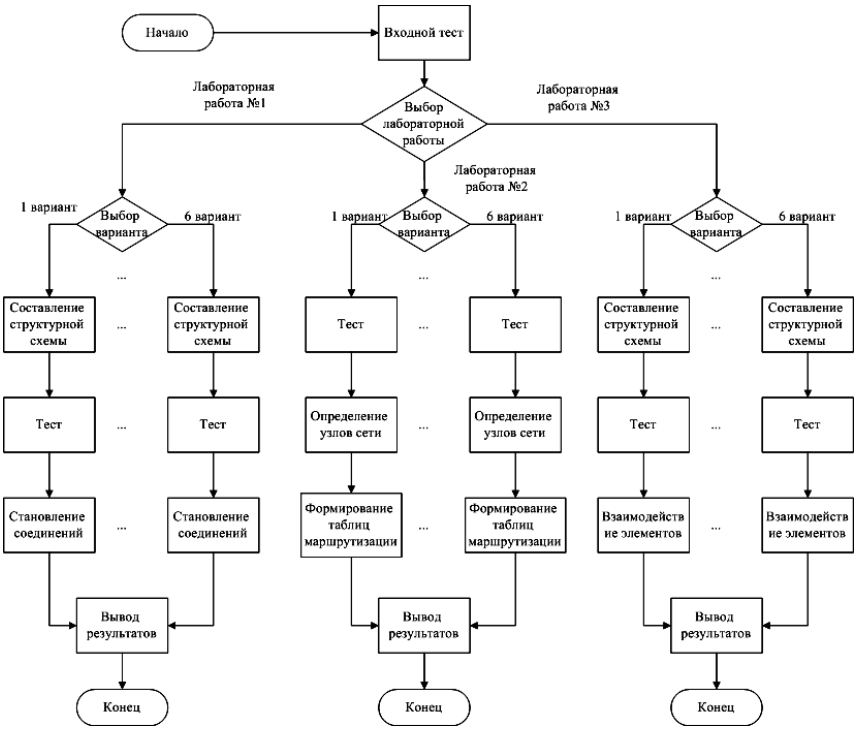


Рис. 1. Структура компьютерного тренажера

Первая лабораторная работа ориентирована на изучение протокола инициирования сеансов (Session Internet Protocol, SIP). В ней рассматриваются основные принципы, архитектура, адресация, формирование запросов и ответов, алгоритмы установления соединений. Работа состоит из трех заданий: в первом задании рассматриваются архитектура сети SIP, основное оборудование и его место в сети. Второе зада-

ние – тест, охватывающий теоретические основы протокола SIP. В третьем задании предлагается установить соединение (провести обмен сообщениями) между двумя абонентами, используя различные алгоритмы установления соединений.

Вторая лабораторная работа позволяет изучить технологию одного из вариантов транспортной сети NGN – многопротокольной коммутации на основе меток (Multiprotocol Label Switching, MPLS). В ней рассматриваются основные принципы технологии, метки и механизмы MPLS, протокол распределения меток. Работа состоит из трех заданий: первое задание – тест, позволяющий студенту систематизировать и освежить знания о технологии MPLS. Во втором и третьем заданиях рассматриваются оборудование, формирование таблиц маршрутизации, распределение меток по сети, организация VPN туннелей.

Третья лабораторная работа ориентирована на изучение сетей следующего поколения. Рассматриваются архитектура, основные протоколы, оборудование, программный коммутатор Softswitch, сигнализация, прохождение данных по сети. Работа состоит из трех заданий: тест, составление структуры сети, взаимодействие между элементами.

Программный продукт содержит: электронный учебник, дающий достаточные знания по вопросу NGN, входной тест (допуск к выполнению лабораторных работ), примеры выполнения задания. Последовательность выполнения лабораторных работ изложена в прилагаемых к программному продукту «Методических указаниях». Для демонстрации интерфейса компьютерного тренажер на рис. 2 показан вид одного из экранных окон.

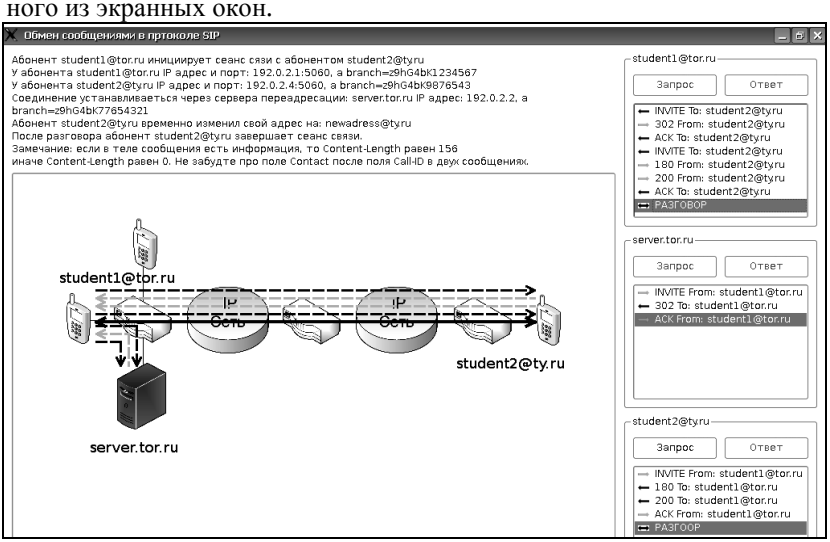


Рис. 2. Интерфейс компьютерного тренажера

ЛИТЕРАТУРА

1. Кожанов Ю.Ф. Интерфейсы и протоколы сетей следующего поколения: Учебное пособие. СПб.: 2007. 244 с.

ЗАЩИЩЕННЫЙ КЛАСТЕРНЫЙ СЕРВЕР С ТЕРМИНАЛЬНЫМ ДОСТУПОМ НА ОСНОВЕ WINDOWS SERVER 2003

А.А. Матросов, А.В. Егоров,
К.Ю. Свиридов, студенты 4-го курса, каф. РТС
г. Томск, ТУСУР, gol@rts.tusur.ru

Целью данной работы является создание отказоустойчивого защищенного сервера с терминальным режимом для предоставления пользователям доступа к ресурсам и приложениям данного сервера.

Кластер – это две или более самостоятельные системы, объединенные в единое целое посредством специального программного и аппаратного обеспечения. Основное звено кластера – это единичный компьютер, называемый узлом. При этом синергетическое целое мощнее, нежели отдельный узел. Изменения в структуре кластера, например появление и удаление узлов из состава кластера, по разным причинам – авария или, наоборот, восстановление после критической ситуации фиксируется всеми оставшимися/новыми узлами.

Кластеры NLB (Network Load Balancing) обеспечивают масштабируемость и высокую доступность служб и приложений, объединяя в один кластер до 32 серверов с одинаковым набором данных, на которых выполняются одни и те же приложения. Каждый запрос выполняется как отдельная транзакция. Применяются для работы с наборами редко изменяющихся данных, вроде WWW, ISA, службами терминалов и другими подобными сервисами. Именно такая кластерная модель реализована в рамках данного проекта.

При использовании балансировки нагрузки на каждом из хостов создается виртуальный сетевой адаптер со своим независимым от реального IP- и MAC-адресом. Этот виртуальный интерфейс представляет кластер как единый узел, клиенты обращаются к нему именно по виртуальному адресу. Все запросы получаются каждым узлом кластера, но обрабатываются только одним. На всех узлах запускается служба балансировки сетевой нагрузки, которая использует специальный алгоритм, не требующий обмена данными между узлами. Балансировка может быть реализована в одном из двух режимов:

- unicast – одноадресная рассылка, когда вместо физического MAC используется MAC виртуального адаптера кластера. В этом случае узлы кластера не могут обмениваться между собой данными, используя MAC-адреса только через IP;

• multicast – многоадресная рассылка, MAC-адрес кластера назначается физическому адресу, но не затирая его.

В данной работе реализована гибридная конфигурация, обладающая достоинствами обоих методов, т.е. создан NLB-кластер и настроена репликация данных между узлами.

Сервер терминалов операционной системы Windows Server 2003 позволяет с удаленных клиентских компьютеров получить через сеть доступ к приложениям, установленным на сервере.

Сервер терминалов позволяет доставлять приложения Windows или рабочий стол виртуально на любое устройство, даже если оно не запускает у себя Windows.

Терминальный сервер может расширить возможности распространения программного обеспечения. При работе пользователя с сервером терминалов приложение выполняется на сервере, а по сети передаются только события клавиатуры, мыши и отображаемая информация. Пользователи видят только свои индивидуальные сеансы, которые управляются операционной системой независимо от других сеансов.

Сервер терминалов обеспечивает шифрование канала связи. Для аутентификации соединений со службами терминалов и шифрования коммуникаций с сервером терминалов применяется Secure Sockets Layer (SSL) / Transport Layer Security (TLS).

SSL – протокол шифрованной передачи данных между клиентом и сервером, который требует сертификата, выданного одним из авторизованных центров. TLS – криптографический протокол, который обеспечивает безопасную передачу данных между узлами в сети Internet. Различияе между SSL 3.0 и TLS 1.0 незначительные, поэтому, как правило, термин «SSL» относится к ним обоим. SSL, используя криптографию, предоставляет возможности аутентификации и безопасной передачи данных через Internet.

SSL включает в себя три основные фазы:

• диалог между сторонами, целью которого является выбор алгоритма шифрования;

• обмен ключами на основе криптосистем с открытым ключом или аутентификация на основе сертификата;

• передача данных, шифруемых при помощи симметричных алгоритмов шифрования.

Преимущества:

• Быстрое развертывание приложений.

• Возможность низкоскоростного доступа.

• Windows повсюду.

Аутентификация Windows Server 2003. Аутентификация – это проверка того, что данное лицо соответствует опознавательным данным, которые он предъявляет; тем самым аутентификация является основным компонентом системы безопасности Windows Server 2003. Она подтверждает опознавательные данные пользователя, который хочет выполнить вход на компьютер, в сеть или в домен. Используя Active Directory, Windows Server 2003 поддерживает единый вход для доступа ко всем сетевым ресурсам. Это позволяет пользователю выполнять вход в домен с помощью единственного пароля или смарт-карты и аутентифицироваться для любого ресурса в домене.

Защита данных с помощью EFS Windows Server 2003. Аналогично Windows 2000 и Windows XP система Windows Server 2003 может защищать данные на дисках формата NTFS с помощью EFS. EFS не работает на дисках, отформатированных с помощью FAT32. При шифровании файла ему присваивается уникальный ключ шифрования, с помощью которого можно дешифровать его данные. Этот ключ шифрования затем шифруется с помощью открытого ключа данного пользователя. Ключ шифрования файла защищается также открытым ключом других пользователей, которым были предоставлены полномочия на дешифрование этого файла, а также назначенного агента восстановления. Важно также понять, что когда шифрованные с помощью EFS файлы передаются через сеть, они не защищены, если не реализован IPSec.

Реализация аудита. Аудит – это основное средство для администраторов, позволяющее выявлять и отслеживать потенциальные проблемы безопасности, обеспечивать учет пользователей и обнаруживать признаки проникновения в систему безопасности. Для реализации политики аудита требуется определить какие события и объекты нужно включить в аудит. Наиболее часто в аудит включаются следующие типы событий:

- Вход и выход пользователей из системы.
- Изменения в пользовательских учетных записях и группах.
- Доступ пользователей к важным объектам, таким как файлы и папки.
- Изменения политик.

Аудит журнала событий – это один из наиболее действенных способов, позволяющих выявить несанкционированное проникновение на сервер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Windows Server 2003 (Rus). chm // http://www.natahaus.ru
2. Журнал для системных администраторов. http://www.samag.ru

МАРШРУТИЗИРУЕМЫЙ СЕРВИС ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В.И. Никонов, аспирант,
каф. «Средства связи и информационная безопасность»
Омский государственный технический университет
т. 8(3812)658-560, 8(904)322-24-95, vi.nikonov@gmail.com

Введение. Настоящая работа продолжает исследование [1], которое посвящено разработке алгоритмов разделения данных в распределенных сетях. Данный метод выступает в качестве альтернативы снижению вычислительных затрат при использовании шифрования.

Разнообразие угроз, воздействующих на информацию в распределенных сетях, объясняется сложной структурой последних. Сетевые атаки многогранны и определяются рядом факторов: целью злоумышленника, объектом воздействия, архитектурой сегмента сети.

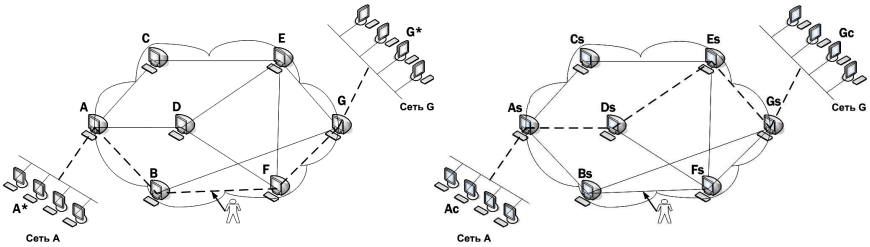
В настоящее время существует достаточно много работ, посвященных классификации и описанию сетевых атак. Например, в исследованиях профессора Avinasha Kaka, в т.ч. [2], разбираются угрозы, подстерегающие трафик в TCP/IP сетях.

Наиболее распространен класс так называемых активных сетевых атак, для осуществления которых злоумышленнику необходимо напрямую совершить взаимодействие с некоторой системой, являющейся частью сети. Набор инструментов столь же широк: создание перегрузок серверов, эксплуатация недостатков протоколов, использование уязвимостей программного обеспечения. Существующие меры по снижению угроз атак эффективны, но, как правило, узко специализированы. Например, применение криптографических инструментов протокола IpSec делает перехват TCP/IP-пакетов нецелесообразным, но никак не противодействует атакам, вызывающим значительную загрузку на некоторых участках пути следования трафика. В работе разработан принципиально иной подход повышения устойчивости системы при целенаправленных воздействиях активного характера.

Маршрутизируемый сервис. Одним из видов активных сетевых атак является класс атак, основанных на сниффинге [2]. Приведем пример, в котором злоумышленник, обладая знаниями, что некоторая организация регулярно передает данные из A в G, может довольно точно определить маршрут от A до G в момент времени Δt и осуществить перехват на каком-нибудь из участков следования трафика (рис. 1, *а*).

A, B, C, D, E, F, G пока следует понимать как некоторые узловые серверы, необходимые для пространственного представления маршрута следования трафика. Так, A – Интернет-шлюз организации. Производя посылку трассировочных пакетов, злоумышленник в момент вре-

мени Δt определил маршрут следования трафика (показано пунктиром) и произвел атаку на подконтрольном маршрутизаторе, расположенном на участке *BF*.



а *б*

Рис. 1. Работа протоколов маршрутизации между *A* и *G* в момент Δt (*а*). Вариант возможной атаки на участке *B* – *F*; *б* – изменение маршрута трафика за счет использования доверенных серверов D_S, E_S

В работе разработан маршрутизируемый сервис S_M передачи данных через распределенные сети. S_M – клиент-серверное приложение, позволяющее пользователю передавать данные специфичным маршрутом. Характер маршрута определяется базой критериев S_M. Среди них, например, такие, как скорость доставки, надежность, безопасность и т.д. В данной статье приведено описание работы, посвященной исследованию критерия безопасности передачи. В рамках же всего проекта рассматривались и остальные [3].

В роли маршрутизаторов для S_M выступает некоторое множество доверенных серверов распределенной сети. Под доверенным сервером будем понимать некоторый многофункциональный сервер распределенной сети, к которому злоумышленник не имеет доступа.

На доверенных серверах A_S, B_S, C_S, D_S, E_S, F_S, $G_S \in F$ устанавливается серверная часть сервиса – S_{MS}, выполняющая автоматическую «интеллектуальную» маршрутизацию трафика. Обозначим *F* – множество всех доверенных серверов с S_{MS}, а F_i – конкретный доверенный сервер $i \in [1, n]$.

S_{MC} – приложения клиентской части сервиса. S_{MC} устанавливается на компьютерах пользователей и предоставляет пользователям диалог для инициализации процесса передачи данных с участием F_i.

На рис. 1, *б* показано, что использование S_M позволило избежать прохождения трафиком подконтрольного злоумышленнику участка. Данное решение S_M (итоговый маршрут) является вероятностным с вероятностью принятия p_j, $0 < p_j \le 1$, $j \in [1, k]$, где *k* – количество различных маршрутов от A_S до G_S на графе с вершинами A_S, B_S, C_S, D_S, E_S,

F_S, G_S и ребрами, определяемыми текущей топологией сети. Расчет значений p_j будет рассмотрен далее.

В отличие от модулей S_{MC}, которые запускаются только в тех случаях, когда пользователю необходимо осуществить передачу данных, модули S_{MS} работают постоянно. Помимо обеспечения процесса передачи, $S_{MS} \in F_i$ через интервал τ вычисляет коэффициенты m_{ir} таблицы маршрутизации $M_i \in F_i$, $i \in [1, n]$, $r \in [1, n]$.

Напомним, что в процессе передачи с помощью S_M данные проходят через некоторое число доверенных серверов, равное f. Выбор каждого следующего сервера происходит динамически. Учитывая приведенное выше определение таблиц маршрутизации для S_{MS}, выбор каждого следующего сервера описывает гипергеометрическое распределение HG (c; a_i, n, c).

Параметры распределения: n – число всех используемых доверенных серверов; $c = 1$, в случае использования инструмента мультиплексирования трафика $c > 1$. a_i – число недоступных для F_i серверов из числа всех серверов (определяется из динамической таблицы маршрутизации M_i).

Таким образом, итоговый маршрут трафика от отправителя до получателя при использовании S_M и f доверенных серверов (из n доступных) будет выбран с вероятностью

$$p_j = \binom{n-a_0}{c} * \binom{n-1-a_1}{c} * \ldots * \binom{n-f-a_f}{c}, \quad j \in [1, k]; \tag{1}$$

a_i – число недоступных серверов для F_i в момент времени τ при выборке F_{i+1} доверенного сервера на (i + 1)-м шаге.

$$a_i = n - \sum_{w=1}^{n} m_{iw}. \tag{2}$$

Оценим вероятность успешной атаки p_A, когда злоумышленник контролирует участок между доверенными серверами F_t и F_{t+1}. При неизвестном пространственном расположении F_i считаем атаку успешной, если при работе сервиса S_M передатчики F_t и F_{t+1} были выбраны на i-м и (i + 1)-м этапе передачи, $t \in [1, n]$, $i \in [1, f]$.

$$p_A = \frac{2}{n-a_0} * \frac{1}{n-1-a_1} + \frac{2}{n-1-a_1} * \frac{1}{n-2-a_2} + \ldots + \frac{2}{n-(f-1)-a_{f-1}} * \frac{1}{n-f-a_f}. \tag{3}$$

Формула (3) легко распространяется на случай подконтрольных злоумышленнику участков между s-доверенными серверами F_t, F_{t+1}, …, F_{t+s}. Так, например, при достаточно большом n и достаточно малых a_i и f, причем $n \gg f$ и $n \gg a_i$, $i \in [1, f]$, оценка (3) представляется в виде

$$p_A = O\left(1/n^2\right). \tag{4}$$

При использовании мультиплексирования ($c > 1$) задача злоумышленника еще более усложняется. Варианты атак злоумышленника на разнесенный трафик рассматриваются в [4].

Выводы. В процессе исследований, выполненных в работе, реализован маршрутизируемый сервис передачи данных через распределенные сети. Выработаны основные компоненты, необходимые для функционирования системы. Даны оценки вероятностям сетевых атак на передаваемую информацию в случае применения маршрутизируемого сервиса. Обоснована возможность использования мультиплексирования в сочетании с алгоритмами работы сервиса. Произведена апробация сервиса на глобальной сети предприятия.

Использование маршрутизируемого сервиса $S_{\text{М}}$ для передачи данных через распределенные сети позволяет значительно снизить вероятность класса активных сетевых атак злоумышленника без использования каких-либо инструментов шифрования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов В.И., Файзуллин Р.Т. Система мультиплексирования разнесенного TCP/IP трафика // Вестник Томского университета. Приложение. 2005. № 14. С. 115–118.

2. Avi Kak. Port Scanning, Vulnerability Scanning, and Packet Sniffing // Computer and Network Security. 2008. № 23. С. 29–38.

3. Никонов В.И. Маршрутизируемый сервис передачи данных через распределенные сети // Материалы конференции-конкурса «Технологии Microsoft в информатике и программировании», Новосибирск, 1–2 марта 2008. Новосибирск, 2008. С. 83–84.

4. Ефимов В.И. Атака на систему разнесенного TCP/IP трафика на основе анализа корреляции потоков / В.И. Ефимов, Е.В. Щерба // Информационные технологии моделирования и управления. 2005. № 6 (24). С. 859–863.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО СКРЕМБЛЕРА НА DSP

И.А. Простак, студент 4-го курса, каф. РТС

г Томск, ТУСУР, gol@rts.tusur.ru

Целью данной работы является создание скремблера на базе цифрового сигнального процессора. Суть скремблирования заключается в побитном изменении проходящего через систему потока данных. Практически единственной операцией, используемой в скремблерах, является XOR – «побитное исключающее ИЛИ». Параллельно прохождению информационного потока в скремблере по определенному

правилу генерируется поток бит – кодирующий поток. Как прямое, так и обратное шифрование осуществляется наложением по XOR кодирующей последовательности на исходную.

Скремблеры и дескремблеры цифрового сигнала строятся на основе генераторов псевдослучайных последовательностей битов.

Источником информации для нашего скремблера является аналоговый сигнал (звуковой сигнал) стандартной полосы 3,1 кГц. Он оцифровывается АЦП, которое встроено в плату EZ-KIT Lite, с частотой 8 кГц и выборкой 8 бит на отсчет. Таким образом, получаем стандартный цифровой поток 64 кГц, который поступает на регистр R1. Скорость обработки определяется на начальном этапе после включения, в момент синхронизации.

Мы имеем цифровой сигнал, с которым и будет осуществляться алгоритм скремблирования. Алгоритм скремблирования проходит в два этапа. На первом этапе с помощью ключа хранящегося в памяти программы генерируется псевдослучайная последовательность. Генератор псевдослучайной последовательности построен на регистре с цепями обратной связи. Длина регистра 36, обратные связи осуществлены с ячейками 14, 17, 21, 25, 33. Длина периода повторения псевдослучайной последовательности примерно 10^{10} бит. Таким образом, при скорости передачи 64 Кбит/с время периода последовательности 12 дней, при скорости передачи 256 Кбит/с – 3 дня. При том, что передача данных будет в реальном времени и будет носить сеансовый характер, такая длина последовательности достаточна. Блок кодирования К1 задает параметры обратных связей и начальное состояние регистра, обеспечивая криптозащиту передачи.

На втором этапе скремблирования данные DATA и сопровождающий их сигнал синхронизации CLK поступают на вход регистра RG1. Фронты сигнала CLK соответствуют границам между битовыми интервалами сигнала данных DATA. По фронтам сигнала CLK изменяется содержимое регистра RG1, генератор F переходит в новое состояние. При этом формируется очередной псевдослучайный бит RND, который складывается по модулю два с битом данных DATA и преобразуется в скремблированный бит данных SCRD. По окончании переходных процессов в момент формирования спада сигнала CLK бит SCRD принимается в триггер D3 и через усилитель D6 передается в линию связи. Усилитель D6 (D7) предназначен для передачи (приема) скремблированного сигнала данных в линию (из линии). Параметры усилителей D6 и D7 определяются типом линии связи, которая может быть выполнена в виде витой пары проводов, коаксиального или оптоволоконного кабеля и т.п.

На приемном конце происходит организация обратного алгоритма. Общая структурная схема скремблера представлена на рис. 1.

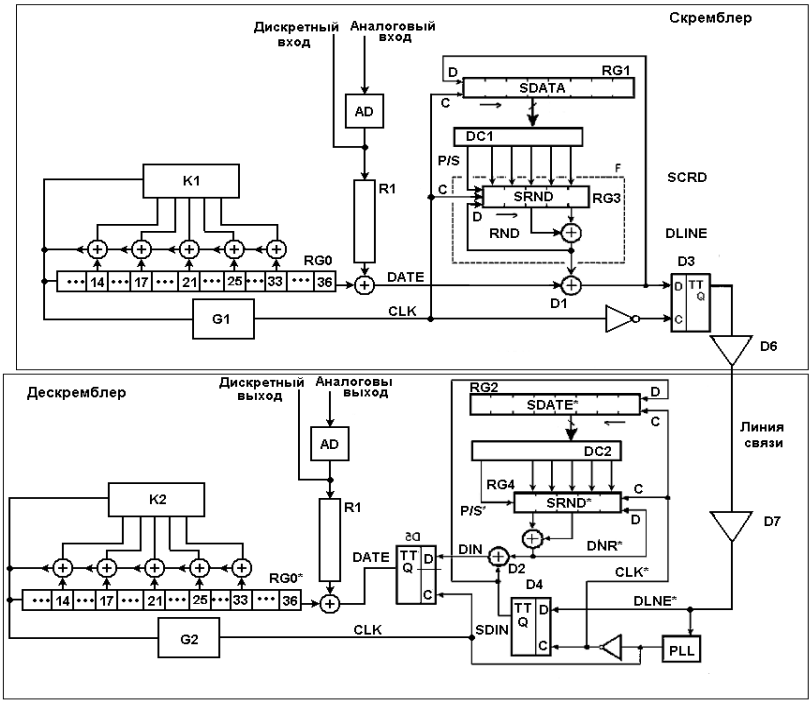


Рис. 1. Структурная схема скремблера

Применение предлагаемой системы «скремблер–дескремблер» позволяет повысить скорость передачи полезных данных и уменьшить их потери при восстановлении нарушенной синхронизации благодаря исключению из потока данных служебной синхронизирующей информации.

Скремблеры на основе цифровых сигнальных процессоров позволяют обеспечивать высочайший уровень шифрования информации для предотвращения утечки и утраты информации и, соответственно, минимизации материального и морального ущерба. Основная особенность системы в том, что шифрование производится поточно, в реальном времени. Этим определяются основные ее характеристики.

Скремблер на базе сигнального процессора обладает рядом неоспоримых достоинств:

- высокая производительность системы;

• гибкость параметров и возможность обрабатывать различные типы сигналов;

• работа в реальном времени;

• большие возможности по совершенствованию системы и построения на ее базе различных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочное руководство по архитектуре процессора Analog Devices ADSP // http://www.analog.com/

2. Аппаратные шифраторы // http://www.osp.ru/

3. VisualDSP 3.5 + Руководство пользователя.

4. ADSP и платы EZKIT – LITE // http://vadis7.chat.ru/index.htm

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СТАНДАРТА КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГОСТ 28147–89

В.В. Шуринов, студент 3-го курса, каф. РТС

г. Томск, ТУСУР, gol@rts.tusur.ru

Данная работа посвящена разработке устройства криптографической защиты данных, реализующего отечественный стандарт ГОСТ 28147–89. Целью разработки является получение компактного устройства шифрования в форм-факторе USB-FLASH.

В настоящее время остро стоит проблема обеспечения конфиденциальности информации при ее передаче или хранении. Одним из способов ее решения является аппаратное шифрование, которое позволяет получить более высокую надежность и ряд других преимуществ перед чисто программным шифрованием.

Аппаратные шифраторы сами по себе новаторством не являются (ведущий российский производитель фирма «Анкад» выпускает их с 90-х годов), данная работа предлагает их реализацию на основе цифрового сигнального процессора (ЦСП; Digital Signal Processor, DSP) ADSP-TS101 TigerSHARC фирмы Analog Devices.

Выделим плюсы данного подхода: использование российского алгоритма, что дает возможность сертифицировать разрабатываемое устройство в РФ как средство криптографической защиты данных (при использовании зарубежных стандартов это сделать весьма проблематично или даже невозможно); использование ЦСП ADSP-TS101 позволяет сократить время на разработку управляющего и алгоритмического программного обеспечения (которое пишется на Си/Си++), упрощает отладку и настройку устройства, позволяет получить высокую скорость обработки данных и возможность, не меняя «железа», увели-

чивать функционал устройства и даже менять сами алгоритмы шифрования.

Криптоалгоритм ГОСТ 28147–89, как и большинство шифров «первого поколения», разрабатывавшихся в 70-е годы и в первой половине 80-х, базируется на архитектуре «сбалансированная сеть Файстеля» (balanced Feistel network). Основным принципом этой архитектуры является то, что весь процесс шифрования состоит из серии однотипных раундов. На каждом раунде шифруемый блок T делится на две части (T0,T1), одна из которых модифицируется путем побитового сложения по модулю 2 со значением, вырабатываемым из другой части и ключевого элемента раунда с помощью функции шифрования. Между раундами части блока меняются местами, и, таким образом, на следующем раунде текущий измененный блок станет неизменным и наоборот. Схема алгоритма шифрования по ГОСТ 28147–89 приведена на рис. 1. $f(X_i, k_i)$ – раундовая функция шифрования, X_i – состояние процесса шифрования после i-го раунда. Подобная архитектура позволяет легко получить обратимое криптографическое преобразование из сложной и, возможно, необратимой функции шифрования. Важной особенностью этого подхода является то, что за раунд шифруется ровно половина блока.

Рассмотрим устойчивость алгоритма к известным видам криптоанализа. Наиболее универсальными и эффективными для алгоритмов широкого класса являются дифференциальный и линейный виды криптоанализа. Дать оценку устойчивости алгоритма ГОСТ 28147–89 к конкретным видам криптоанализа невозможно без спецификации узлов замен, так как качество этого шифра существенным образом зависит от качества использованных узлов. Однако исследования близких по архитектуре шифров с заданными таблицами подстановок (DES) показали, что криптоанализ шифра с 16 раундами в принципе осуществим, однако требует очень большого числа исходных данных, а при 20–24 раундах становится теоретически бесполезным. ГОСТ предусматривает 32 раунда шифрования, и этого количества хватает с запасом, чтобы успешно противостоять указанным видам криптоанализа. В открытой печати отсутствуют сообщения об успешном вскрытии ГОСТа с какими-либо узлами замен – как с тестовыми, специфицированными в стандарте ГОСТ Р34.11–94, так и с теми, с которыми реализации ГОСТа поставлялись в коммерческие организации. В печати отсутствуют какие-либо сведения об успешных случаях вскрытия указанных шифров, а также описания процедур, которые теоретически позволили бы дешифровать сообщение с меньшими вычислительными затратами, чем полный перебор по всему ключевому пространству [1].

Таким образом, выбранный алгоритм является достаточно надежным средством симметричного шифрования.

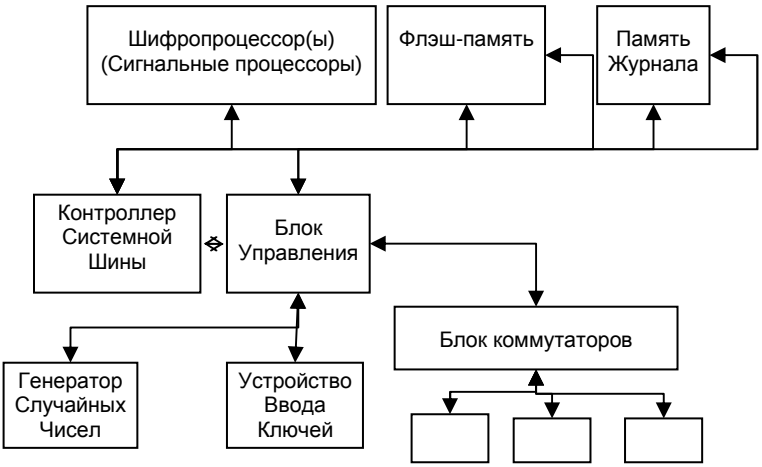


Рис. 1. Структура шифратора

Теперь о самом шифраторе. Аппаратный шифратор представляет собой плату расширения (под шины PCI, PCI-E) либо съемное устройство с последовательными интерейсами USB или IEEE1394. Предоставляет, обычно, возможность пользователям, кроме непосредственно шифрования, ряд других функций: ограничение доступа к компьютеру или отдельным его возможностям и периферийным устройствам.

Аппаратные шифраторы выигрывают у соответствующего по свойствам криптографического программного обеспечения за счет того, что сами алгоритмы хранятся в шифраторе (их невозможно изменить из компьютера, на котором установлен этот шифратор), он имеет свою память под ключи шифрования, свой журнал событий и, главное, аппаратный датчик (генератор) случайных чисел (ДСЧ). Случайное число необходимо для генерации ключей шифрования, и от того, насколько каждое значение этого числа равновероятно, зависит стойкость получаемого шифра, в программных шифраторах ДСЧ – часть кода, и он выдает псевдослучайные числа.

Шифратор построен на ЦСП ADSP-TS101 TigerSHARC. Удобство его использования в относительной простоте программирования (используется среда Visual DSP++) и большой скорости. Применение процессоров ADSP-TS101 уменьшает общую стоимость материалов при проектировании системы, благодаря наличию интегрированных

функций ввода-вывода набора периферийных устройств, которые уменьшают или вообще ликвидируют потребность в применении вспомогательных и дополнительных аппаратных средств. Работая на тактовой частоте 150 МГц, процессор ADSP-TS101 объединяет четыре порта связи со скоростью передачи 600 Мбит/с, средства поддержки мультипроцессорного кластера с возможностью подключения до восьми процессоров ADSP-TS101, контроллер динамической памяти и интерфейс JTAG. Данная не имеющая аналогов комбинация возможностей реализована в 35x35 мм корпусе SBGA с 360 выводами.

При работе в качестве аппаратной части используется плата производства Analog Devices – ADSP-TS101S EZ-KIT Lite (Evaluation Kit for the TigerSHARC Processor). Данная плата обрабатывать информацию может как автономно, так и с использованием для управления ПЭВМ. Данная плата является универсальным устройством, позволяющим реализовывать различные устройства, например: цифровые фильтры, спектрографы, шифраторы и т.д. Для этого в ее составе, помимо цифрового сигнального процессора, также имеется: аналогово-цифровой преобразователь, цифроаналоговый преобразователь, два вида памяти – SDRAM и Flash Memory (последняя имеет меньший размер и используется для хранения различных загрузочных модулей), различные разъемы – USB, Stereo Jack, JTAG Interface (с помощью него можно отлаживать работу платы через VisualDSP, установленной на компьютере), некоторое количество сигнальных светодиодов и переключателей и др. На основе этой платы возможны настройка, отладка работы устройства как «тренировочного полигона» по применению криптографических методов защиты информации.

Технические характеристики аппаратного шифратора на сигнальном процессоре.

Скорость шифрования определяется формулой

$$V = F * K / n,$$

где F – тактовая частота; K – размер стандартного блока шифрования; n – число тактов, требующееся на преобразование стандартного блока.

Параметры ядра ЦСП ADSP-TS101 TigerSHARC:

– 1200 ММАС/с на частоте 150 МГц – 16 бит с фиксированной точкой;

– 300 ММАС/с на частоте 150 МГц – 32 бита с плавающей точкой;

– 900 MFLOPS – 32 бита с плавающей точкой.

То есть при самой грубой оценке при тактовой частоте 150 МГц ГОСТ 28147–89 имеет быстродействие 32 такта на 64-битовый блок, и следовательно, скорость будет около 37,5 Мбайт/с.

Аппаратный шифратор является достойным средством защиты информации, и его разработка на основе выбранного способа реализа-

ции является достаточно перспективным занятием. На сегодняшний момент работа находится на стадии создания алгоритма управления устройством и его программной реализации. Скорость шифрования около 37,5 Мбайт/с – на сегодня достаточна для передачи данных по локальным сетям и Интернет. Второй важной проблемой в дальнейшем станет создание аппаратного датчика случайных чисел с равномерной функцией распределения. Скорее всего, он будет создан на основе шумового диода и блока формирования двоичного числа.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 28147–89. Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования. М.: Госстандарт СССР, 1989.

2. Петров А.А. Компьютерная безопасность: криптографические методы защиты. М.: ДМК, 2000. 448 с.

ЗАЩИЩЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ-СЕРВЕР С ТЕРМИНАЛЬНЫМ ДОСТУПОМ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

П.А. Синегубов, А.А. Котельников,
В.С. Карякин, студенты 3-го курса, каф. РТС
г. Томск, ТУСУР, gol@rts.tusur.ru

Цель работы – рассмотреть принципы работы кластерных информационных систем, предназначенных для высокоскоростного надежного непрерывного обмена данными между параллельными приложениями, установленными на кластер, обеспечение терминального доступа к приложениям, защита информации.

Кластер – два или более сервера (иногда называемые узлами), объединенных при помощи коммуникационных каналов, которые образуют системную, или технологическую, сеть. Такое соединение позволяет повысить готовность или масштабируемость, или и то и другое одновременно.

Возможны различные варианты кластерных решений, под которыми понимается объединение некоторых сетевых ресурсов – коммутаторов, накопителей и т.д. Мы же остановимся на кластеризации серверов, т.е. на создании единого комплекса из нескольких компьютеров (серверов).

Кластерное решение, объединяющее несколько серверов, включает следующие компоненты:

1. Операционная система, которая поддерживает кластеризацию (в нашем случае Microsoft Windows Server 2003).

2. Собственно компьютеры (серверы), которые необходимо объединить.

3. Коммуникационные средства (сетевые карты, проводка), при помощи которых компьютеры соединяются в сеть.

4. Специализированное ПО кластеризации, которое устанавливается на объединяемых компьютерах.

В данной работе рассмотрен простой вычислительный кластер на базе 2 серверов и на основе операционной системы Windows Server 2003 и встроенной службы поддержки кластеров Windows Computer Cluster Server. Была рассмотрена архитектура построения данного кластера, применимая к доступному на данный момент аппаратному и программному обеспечению. Расписаны основные требования к настройке сетевой конфигурации, к дискам общего пользования, к аппаратному и программному обеспечению.

Службы терминалов (Terminal Services) представляют собой совокупность сетевых служб, обеспечивающих удаленный доступ к рабочему столу на сервере при помощи программного обеспечения «тонкого» клиента, выступающего в качестве эмулятора терминала. Все приложения и команды пользователя выполняются непосредственно на сервере, на котором функционируют службы терминалов. Удаленному пользователю, осуществляющему подключение к серверу при помощи указанных служб, передаются только образы экрана приложения, запущенного на сервере. Со стороны клиента серверу передается информация о нажатых на клавиатуре клавишах и о перемещении мыши. Эта информация обрабатывается службами терминалов сервера в рамках сеанса конкретного пользователя. Хотя служба терминалов может одновременно работать с множеством сеансов, пользователь, входя в систему, видит процессы только своего индивидуального сеанса связи, управляемые серверной операционной системой и не зависящие от других клиентских сеансов.

Программное обеспечение «тонкого» клиента, посредством которого пользователь подключается к службам терминалов удаленного сервера, поставляется непосредственно в составе Windows Server 2003. Этот клиент может работать на различных версиях Windows. Чтобы обращаться к службам терминалов с других платформ (Macintosh или UNIX), требуется клиентское программное обеспечение сторонних производителей.

Для удаленного управления можно использовать специальный механизм Remote Desktop for Administration (удаленный доступ к рабочему столу для администрирования). Службы терминалов в Windows Server 2003 позиционируются исключительно как механизм реализации эффективного и надежного способа совместного использования

приложений Windows, установленных на сетевом сервере. Службы терминалов позволяют использовать рабочий стол Windows Server 2003 и наиболее современные приложения Windows на компьютерах, ресурсов которых (или возможностей) недостаточно для их выполнения. Работая со службами терминалов, пользователи могут запускать программы, работать с документами и сетевыми ресурсами так же, как и в случае локального компьютера.

Современные сети часто состоят из множества различных программных платформ, большого разнообразия оборудования и программного обеспечения. Пользователи зачастую вынуждены запоминать большое количество паролей для доступа к различным сетевым ресурсам. Права доступа могут быть различными для одного и того же сотрудника в зависимости от того, с какими ресурсами он работает. Все это множество взаимосвязей требует от администратора и пользователя огромного количества времени на анализ, запоминание и обучение. Служба каталогов Active Directory является основой логической структуры корпоративных сетей, базирующихся на системе Windows. Active Directory позволяет управлять системой безопасности корпоративной сети – учетными записями пользователей, компьютеров, групп, организационными подразделениями, а также механизмом групповых политик – мощным средством управления настройками пользовательской среды и параметров компьютеров в большой корпоративной сети.

Протокол Kerberos предлагает механизм взаимной аутентификации клиента и сервера перед установлением связи между ними, причем в протоколе учтен тот факт, что начальный обмен информацией между клиентом и сервером происходит в незащищенной среде, а передаваемые пакеты могут быть перехвачены и модифицированы. В протоколе Kerberos взаимодействуют три участника безопасной связи:

Клиент – система (пользователь), делающая запрос.

Сервер – система, которая обеспечивает сервис для систем, чью подлинность нужно подтвердить.

Центр распределения ключей *(Key Distribution Center, KDC)* – сторонний посредник между клиентом и сервером, который ручается за подлинность клиента. В среде Windows, начиная с Windows 2000, в роли KDC выступает контроллер домена со службой каталогов Active Directory.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чекмарев А.П., Вишневский А.В., Кокорева О.И. Microsoft® Windows Server 2003. Русская версия / Под общ. ред. А.П. Чекмарева. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 1120 с.

2. Брэгг Роберта. Безопасность сети на основе Microsoft Windows Server 2003: Учебный курс Microsoft: Пер. с англ. М.: Издательско-торговый дом «Русская редакция». СПб.: Питер, 2006. 672 с.

СЕКЦИЯ 3

АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, БЫТОВАЯ РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА И СЕРВИС

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

ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В ПРОГРАММЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПУСКОВ КОСМИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ИМЕНИ КЕННЕДИ

С.Н. Белоносова, студентка
г. Томск, ТУСУР, т. 8-923-412-17-69, B.Swetlana88@mail.ru

Программа обслуживания пусков (LSP – Launch Services Program) – главное связующее звено между спутником NASA и провайдером услуг по коммерческим пускам. Вопросы электромагнитной совместимости (ЭМС) в программе обслуживания пусков прежде всего связаны с оценкой изменений в оборудовании ракеты-носителя, с подготовкой новых ракет-носителей, интеграцией космического аппарата в ракету-носитель и оценкой радиочастотной обстановки вокруг пусковой площадки и в полете. К сожалению, информация по этим вопросам редко публикуется и малодоступна.

Цель данной работы – познакомить всех заинтересованных с вопросами ЭМС в программе обслуживания пусков Космического центра имени Кеннеди по материалам работы [1].

Типы ракет-носителей. Основная сфера деятельности инженера ЭМС LSP зависит от типа ракеты-носителя. Для ракет-носителей, неоднократно запускавшихся ранее, LSP делает акцент на стыковке ракеты со спутником и на любых уникальных изменениях в ракете-носителе и проекте. Для новейших ракет-носителей акцент делается на их сертификации.

Atlas V (400 и 500 серий). Первый полет Atlas V для проектов NASA был совершен в проекте орбитального исследования Марса. Проект «Новые горизонты Плутона» также был возложен на Atlas V. Изменения, связанные с ЭМС, по сравнению с Atlas II: составной обтекатель, изменение местоположений антенн по отношению к полез-

ной нагрузке, изменение частоты декодера команд, новая система пусковой площадки и защиты от молнии.

Delta IV. Изменения, связанные с ЭМС, по сравнению с Delta II: 10-футовый композитный обтекатель, изменение местоположений антенн по отношению к полезной нагрузке, новая система пусковой площадки и защиты от молнии, изменения в месте изготовления.

Pegasus и Taurus. У NASA летает много спутников Pegasus. Полезная нагрузка NASA использует часть аппаратуры спутника Pegasus в качестве полезной нагрузки. Изменения, связанные с ЭМС, по сравнению со стандартным спутником Pegasus: кондуктивная совместимость, изменения в заземлении, новый передатчик, первая ступень (Taurus).

Радиочастотная обстановка. Радиочастотная обстановка Космического центра имени Кеннеди из-за удаленных и ближних радаров описана в документации, например в TOR-2001. Кроме того, она постоянно измеряется на разных пусковых площадках и установках. Отдельные необходимые работы по радиочастотному мониторингу выполняются поставщиками спутников и ракет-носителей. Эти работы сопровождаются рабочей группой по активным датчикам.

Информация о радиочастотной обстановке на военно-воздушной базе Вандерберга является более раздробленной: она описана в более старой версии TOR; производится периодический мониторинг и предоставляются отчеты (без указания частот) по пиковым теоретическим уровням; выполняется радиочастотный мониторинг космического аппарата и ракеты-носителя по отдельности.

Оценивается также радиочастотная обстановка, создаваемая спутником и ракетой-носителем, причем это делается для каждого запуска. Основные источники излучения для ракеты-носителя находятся в S- и C-диапазонах. Другими источниками, вносящими свой вклад в радиочастотную обстановку во время запуска, могут быть наземные РЛС сопровождения в различных местах, над которыми проходят выходящие на орбиту ракета-носитель и спутник. Эти РЛС не всегда функционируют, но они предназначены для космического сопровождения.

Объединение полезной нагрузки и ракеты-носителя. *Сертификация ракеты-носителя.* Ракеты-носители должны быть сертифицированными для вывода спутника NASA на орбиту. Чтобы достигнуть самой высокой сертификации, служба запусков должна достичь минимум 14 последовательных успешных полетов и выполнить поверку запасов ЭМС в ходе полета. Если 14 полетов не выполнены, ракету-носитель должны дополнительно подвергнуть процедуре оценки разработки ракеты, которая включает в себя наследственную оценку ракеты-носителя, анализы ракеты-носителя, предполетный анализ и со-

ответствующие отчеты в определенных областях (план полета, программное обеспечение полета, управление динамикой, ведение ракеты, условия эксплуатации, тепловое и механическое напряжения, ЭМС/радиочастоты).

Композитные соединения. Радиочастотные соединения часто требуют дополнительных мер, таких как добавление слоев фольги или других металлических деталей для обеспечения низкого импеданса. Кроме того, в большинстве композитных структур способность переноса тока ниже.

Ослабление обтекателя. Композитные структуры, в отличие от металлических, имеют низкий коэффициент ослабления, поэтому также необходима оценка радиочастотной обстановки внутри обтекателя. Обычно доминирующим фактором в ослаблении обтекателя являются швы и отверстия.

Излучение в обтекателе. Когда полезная нагрузка передает сигналы внутри обтекателя, то уравнения для свободного пространства уже не применимы и должны рассматриваться эффекты в резонаторах.

Проекты, чувствительные к радиочастотам, – обеспечение и ослабление. Радиочастотная обстановка (на основе вычислений в пределах прямой видимости и на ослаблении радиодальномеров) специфицируется в документации для ракеты-носителя и спутника. Когда спутник не соответствует обязательным требованиям по радиочастотной восприимчивости, используют следующие подходы:

- Измерения с помощью специального фургона радиочастотной обстановки, созданной технологическим оборудованием.
- Дополнительный радиочастотный мониторинг в чувствительных частотных диапазонах.
- Координация диапазонов для контроля дальномеров и непревышения пределов для спутников. Контролируемый уровень напряженности поля радаров слежения ниже 20 В/м увеличивает риск.
- Координация со всем, что есть вне диапазона, для контроля во время критических периодов (радары сближения, метеорадары).
- Изменения площадки, такие как добавление или изменение покрытий из радиопоглощающих материалов.
- Изменения в ракете-носителе, такие как дополнительное экранирование апертур.
- Изменения космического аппарата, такие как добавление покрытий и экранирования антенн.

Обнаружение молний. Большинство транспортных средств и некоторых космических аппаратов имеет запланированную процедуру выходного контроля, которая должна выполняться в случае удара мол-

нии. Определение того, как близко ударила молния, и когда запускать эту процедуру, является задачей Космического центра имени Кеннеди.

ЛИТЕРАТУРА

1. Trout D. Kennedy Space Center Launch Services Program Electromagnetic Compatibility Issues // Workshop «Aerospace EMC at the Centennial of Flight» in Proc. of 2004 IEEE Int. Symp. on Electromagnetic Compatibility. P. 1–22.

БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЗВУКОВЫХ СООБЩЕНИЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЕЙ XBee КОМПАНИИ MaxStream

И.С. Лазарев, магистрант

г. Барнаул, АлтГУ, ivan07_85@mail.ru

Модули XBee, выпускаемые компанией MaxStream, предназначены для передачи небольших объемов данных, построения сетей управления и дистанционного сбора информации с автономных датчиков. Использование модулей для передачи звуковых сообщений в системе оповещения представляется весьма удобным, так как позволяет помимо звука передавать другую служебную информацию, такую как состояние батареи, включение и выключение сирены. Также при использовании XBee отпадает потребность в регулировке и настройке приемопередающего тракта радиоканала при массовом производстве систем оповещения.

Модули XBee хорошо приспособлены для работы в устройствах с батарейным питанием, так как имеют низкое энергопотребление (порядка 50 мА в режиме передачи и менее 10 мкА в спящем режиме [1]). В конце 2007 г. компания MaxStream выпустила новые модули XBee Series 2, поддерживающие сети с Mesh-топологией и имеющие более низкое энергопотребление [2]. При работе с такими модулями выяснилось, что наибольшая скорость передачи достигается при отправке данных пакетами по 75 байт. В случае увеличения размера пакета более 75 байт он урезается модулем, и часть данных теряется. У предыдущих модулей XBee такого явления не наблюдалось, они уверенно передавали пакеты и по 240 байт. Производителем заявлена максимальная скорость передачи данных по радиоканалу 250 Кбит/с, но на практике удалось достичь скорости 80 Кбит/с, а при полнодуплексной передаче – не более 30 Кбит/с. При этом байты часто терялись или приходили с ошибками, уровень ошибок мог достигать 10%. Модули XBee Series 2 оказались более надежными с точки зрения точности доставки информации, но скорость передачи оказалась значительно

ниже, причем при передаче информации от роутера к координатору данные без потери передавались со скоростью до 28000 бит/с, в обратном направлении скорость оказалась на два порядка ниже. Максимально достигнутой скорости достаточно для передачи звука форматом 8 бит без сжатия с частотой дискретизации 8 кГц для модулей XBee и 3,3 кГц – для модулей XBee Series 2.

В филиале кафедры радиофизики и волнового зондирования АлтГУ на ОАО «Барнаульский радиозавод» были изготовлены устройства приема–передачи звука с использованием модулей XBee. Функциональная схема устройства представлена на рис. 1.

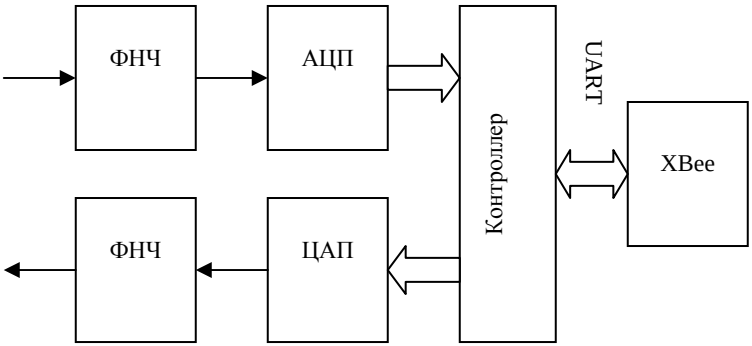


Рис. 1. Функциональная схема устройства

В качестве управляющего микроконтроллера была использована микросхема ATmega 8. Входной звуковой сигнал перед оцифровкой пропускается через ФНЧ с полосой пропускания 3 кГц. В качестве такого фильтра применен активный фильтр четвертого порядка, собранный на микросхеме LM358. Для оцифровки сигнала использовалось внутреннее АЦП микроконтроллера ATmega8. АЦП работает со скоростью 6640 выборок в секунду. Оцифрованный сигнал записывается в буфер передачи, организованный в микроконтроллере. Для удобства программирования величина буфера, а значит, и передаваемого пакета, выбрана равной 72 байта. После заполнения буфера данные начинают отправляться в модуль XBee через UART микроконтроллера на скорости 115200 бит/с.

Принимаемые модулем XBee данные передаются в микроконтроллер, где также буферизируются. Для осуществления непрерывной и бесперебойной оцифровки данных в нужной очередности организованно три буфера приема. В то время когда данные передаются из UART в первый буфер, третий буфер производит их вывод на ЦАП.

Второй буфер используется как промежуточный для предотвращения потери данных при их передаче из первого буфера в третий.

В качестве ЦАП использовался встроенный ШИМ микроконтроллера, работающий на частоте 40–65 кГц в зависимости от тактовой частоты последнего. Полученный сигнал фильтруется активным фильтром. Его частота среза выбрана выше аналогичной частоты входного фильтра и равна 5 кГц.

Несмотря на то, что разработанное устройство рассчитано на одновременную передачу и прием, вследствие сильной ограниченности скорости передачи информации модулями передача звука возможна только в полудуплексном режиме. Переключение из режима передачи в режим приема осуществляется отключением входа UART модуля XBee от соответствующего выхода микроконтроллера.

Модули XBee Series 2 оказались менее пригодными для передачи звука в режиме реального времени, хотя в случае применения цифрового сжатия их использование может оказаться более выгодным, так как они передают информацию с меньшими ошибками. В настоящее время ведется разработка варианта системы передачи звуковых сообщений с использованием кодеков VS1002D.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новости электроники. 2006. № 2. С. 15–20.
2. Новости электроники. 2007. № 16. С. 12–16.

СИСТЕМА МНОГОСИГНАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ И МОНИТОРИНГА СПУТНИКОВОГО РЕТРАНСЛЯТОРА

Л.С. Никифорова, студентка
г. Томск, ТУСУР, т. 8-913-880-31-36, luda_n88@list.ru

Одной из современных систем связи является спутниковая связь. В состав системы спутниковой связи входят ретрансляторы. Спутниковый ретранслятор представляет сложное устройство имеющее функции приема передатчика сложных модулированных многочастотных сигналов. При разработке и производстве подобных ретрансляторов возникает задача измерения и контроля их параметров. Данная задача решается при помощи контрольно-измерительных систем, состоящих из набора измерительных приборов, объединенных в один комплекс с общим управлением.

Одним из типов таких систем является система многосигнальной загрузки и мониторинга (СМЗМ). БРК КУ – бортовой ретрансляционный комплекс контроля и управления.

Состав СМЗМ представлен на рис. 1.

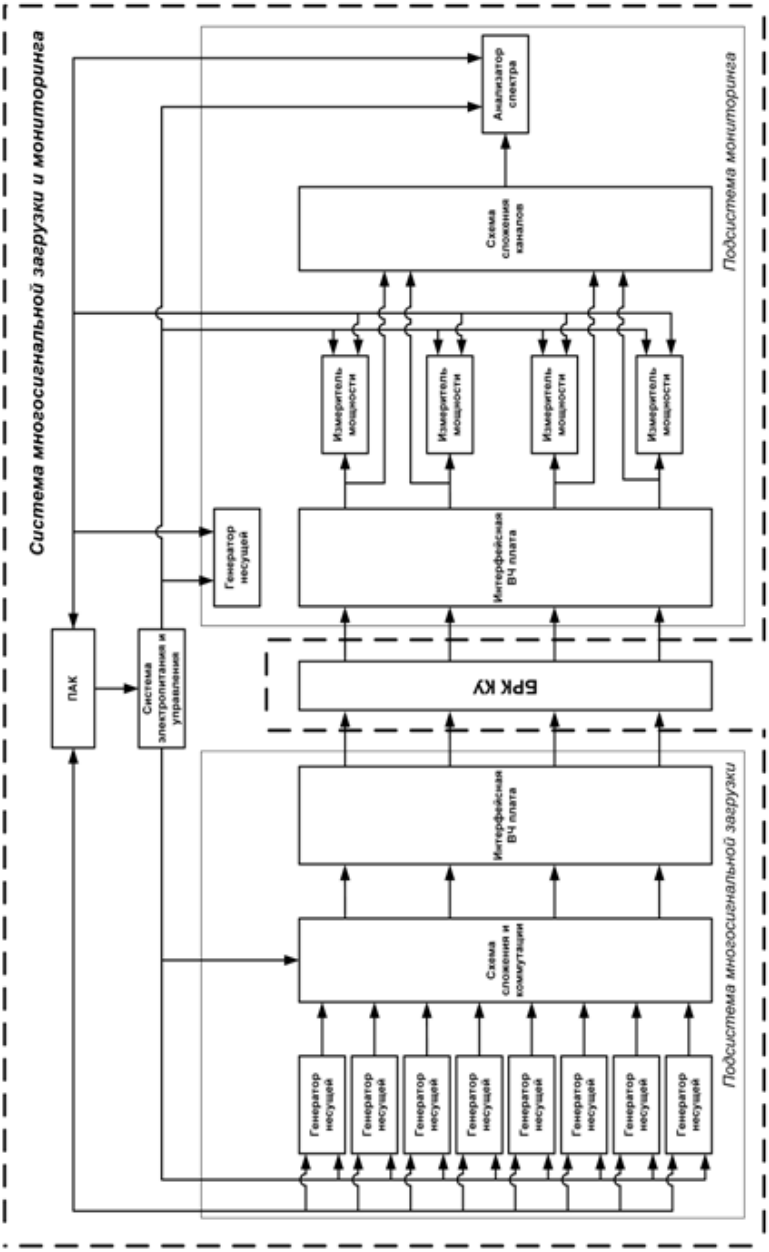


Рис. 1. Состав СМЗМ

Подсистема многосигнальной загрузки. В состав СМЗМ входят:

– подсистема многосигнальной загрузки (ПМЗ);

– подсистема мониторинга (ПМ).

Подсистема многосигнальной загрузки предназначена для формирования многочастотных немодулированных тестовых сигналов для загрузки спутникового ретранслятора. В состав подсистемы входят следующие узлы:

– набор генераторов несущей;

– схема сложения и коммутации;

– интерфейсная ВЧ-плата.

Генератор несущей предназначен для формирования одночастотного сигнала заданными параметрами.

Схема сложения и коммутации предназначена для формирования многочастотного сигнала путем сложения (суммирования) одночастотных сигналов, поступающих от генераторов несущей.

Интерфейсная ВЧ-плата предназначена для обеспечения надежности и качественного соединения БРК КУ и ПМЗ.

Подсистема мониторинга (ПМ). Подсистема мониторинга предназначена для формирования контроля параметров БРК КУ, в состав подсистемы входят следующие параметры:

– интерфейсная ВЧ-плата;

– измеритель мощности;

– схема сложения каналов;

– анализатор спектра.

Интерфейсная ВЧ-плата предназначена для обеспечения надежности и качественного соединения БРК КУ и ПМ.

Измеритель / сумматор мощности предназначен для обеспечения суммирования СВЧ-сигналов синтезаторов, формируя многочастотный сигнал.

Схема сложения каналов предназначена для коммутации многочастотного сигнала одного из синтезаторов между усилителями мощности.

Анализатор спектра предназначен для формирования контроля частоты и уровня спектральных составляющих выходных сигналов БРК КУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет по теме «Система многосигнальной загрузки и мониторинга БРК КУ «Луч-5А» и «Луч-5Б». Томск: Микран, 2009. 12 с.

ИСТОЧНИКИ ПОДСВЕТА ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ КАМЕР

Н.С. Новикова, студентка
г. Томск, ТУСУР, nns80188@mail.ru

Часто необходимо осматривать труднодоступные места (стенки скважин, труб, трактов технологических каналов уран-графитовых реакторов и др.) при отсутствии естественной освещенности. В этом случае необходимо использовать телевизионные камеры с внутренним источником подсвета, и, как правило, они должны иметь диаметр не более 40–50 мм. Это накладывает довольно жесткие требования к источникам подсвета.

В качестве источников подсвета (ИП) использовались лампы накаливания (ЛН) и галогенные лампы (ГЛ) [1]. В последнее время стали использоваться светодиоды диаметром 3–5 мм [2].

Любой источник света характеризуется силой света, определяемой световым потоком, излучаемым в данном направлении [3]:

$$I = \frac{F}{\Omega}, \tag{1}$$

где I – сила света, кд; F – световой поток, лм; Ω – телесный угол, стерадиан.

Для того чтобы определить освещенность объекта от выбранного источника освещения, необходимо знать связь между освещенностью объекта E и силой света осветителя I [3]:

$$E = \frac{I}{r^2}, \tag{2}$$

где r – расстояние до источника света, м.

Вторичное излучение объектов наблюдения определяется не только их освещенностью, но и способностью отражать или рассеивать падающий на них свет. Для нормальной работы телевизионной системы необходимо обеспечить определенную освещенность фотокатода передающей трубки $E_ф$, при этом минимально допустимая освещенность передаваемого объекта $E_о$ может быть определена по формуле [3]

$$E_0 = \frac{4 \cdot E_ф \cdot (1+m)^2}{\rho \cdot \tau_0 \cdot \Theta^2}, \tag{3}$$

где $E_ф$ – минимально допустимая освещенность передаваемого объекта, лк; m – линейный масштаб изображения, определяемый как отношение высоты изображения на фотокатоде к высоте передаваемой сцены; τ_0 – коэффициент отражения объектива, равный примерно 0,7; ρ – коэффициент отражения наиболее светлого участка сцены; Θ – относительное отверстие объектива, определяемое как отношение диаметра его входного зрачка к фокусному расстоянию.

Проведем сравнительный анализ по использованию в качестве ИП ламп накаливания, галогенных ламп и светодиодов.

Обычно для светодиодов задана сила света в определенном плоском угле φ. Для ЛН и ГЛ, как правило, приводится значение светового потока в люменах в полном телесном угле ($\Omega = 4\pi = 12{,}56$ стерадиан). Для пересчета плоского угла в телесный угол используется выражение [4]

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos\varphi)\,. \qquad (4)$$

Зададим условия для проведения сравнения эффективности данных источников подсвета. За исходные данные принимаем $E_Ф = 1$ люкс [2]; $\tau_0 = 0{,}7$; $\rho = 0{,}05$ (для графита); $\Theta = 1/4$; $m = 6{,}8/170$ (данные Θ и m взяты для конкретного объектива [2]); $r = 0{,}2$ м; $\varphi = 30°$ (что соответствует телесному углу $\Omega = 0{,}842$). В таблице использованы данные для конкретной галогенной лампы КГМН 3-0,9 [5], лампы накаливания МН-2,2-0,25 [6], светодиода SL-934SRC.

Источники подсвета

Параметры сравнения	Лампы накаливания	Галогенные лампы	Светодиоды
Световой поток *F*, лм	4,3	11	8,4
Сила света *I*, кд	5,1	13	10
Потребляемая мощность *P*, Вт	0,55	3	0,09
Световая отдача, кд/1Вт	9,3	4,3	111,1
Освещенность на заданном расстоянии *E*, лк	232,5	107,5	2777,5
Срок службы, ч	10	50	100000

Сравнивая по освещенности на заданном расстоянии при одинаковой потребляемой мощности $P = 1$ Вт, можно отметить, что светодиоды значительно превосходят ГЛ и ЛН. Следует отметить, что светодиоды по сроку службы не имеют конкурентов, что является весьма важным фактором при выборе источника подсвета в миниатюрных осветительных системах, технологически сложных в ремонте.

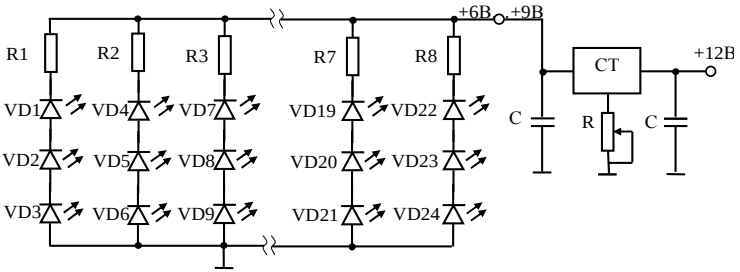
Таким образом, использование светодиодов в качестве ИП для малогабаритных передающих камер является перспективным и более выгодным, поскольку светодиоды по своим светотехническим (сила света *I*, световая отдача) и техническим (потребляемая мощность *P*, срок службы, прочность, герметичность) параметрам в целом превосходят другие рассмотренные нами ИП.

Минимальное количество светодиодов, необходимое для обеспечения заданной освещенности объекта, определяется как

$$x \geq \frac{E_0}{E}\,. \qquad (5)$$

В нашем случае E_0 = 1 лк, сила света одного светодиода I = 10 кд, исходя из формулы (2), освещенность объекта, обеспечиваемая одним светодиодом, E = 250 лк; используя формулу (5), находим минимальное количество светодиодов x = 7.

При разработке ИП было принято решение увеличить запас освещенности. Таким способом обеспечивается универсальность устройства и возможность работы на больших расстояниях до объекта.



Принципиальная схема источника подсвета

Источник подсвета (рис. 1) включает восемь параллельно включенных ветвей, состоящих из трех включенных последовательно светодиодов. Подобное включение светодиодов позволяет повысить надежность источника подсвета в целом, так как при отказе одного светодиода из строя выйдет одна из восьми параллельных ветвей. Регулируемый стабилизатор напряжения позволяет менять яркость свечения светодиодов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ицкович В.М., Ильин А.Г., Казанцев Г.Д. и др. Телевизионная установка с двумерной апертурной коррекцией // Аннотации докладов Всесоюзной конференции по телевидению. М., 1968.

2. Коновалов В.Ф., Пустынский И.Н., Курячий М.И. Телевизионная камера на видиконе с повышенной радиационной стойкостью // Тезисы докладов XIII научно-технической конференции, посвященной 50-летию ОАО ЦНИИ «ЭЛЕКТРОН» «Современные проблемы развития телевизионных фотоэлектронных приборов». СПб., 2006. 72 с.

3. Кондратьев А.Г., Лукин М.И. Техника промышленного телевидения. Л.: Лениздат, 1970. 502 с.

4. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. М.: Мир, 1982. 512 с.

5. Лампы кварцевые галогенные миниатюрные КГМН // http://www.roslait.ru/doc_134.html

6. Лампы накаливания миниатюрные МН (МНЛ, МНМ) // http://www.symmetron.ru/suppliers/bulbs/index.shtml

АЛГОРИТМ МЕТОДА FSV ДЛЯ СРАВНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

П.Е. Орлов, аспирант

г. Томск, ТУСУР, blink_281@mail.ru

Метод проверки отбором особенностей (FSV) становится популярным для количественной оценки результатов сравнения численных или/и экспериментальных данных. Формальная, численная проверка вычислительной электродинамики представляет особый интерес, так как распространение программ электродинамического (ЭД) моделирования требует создания системы придания легитимности результатам ЭД-моделирования. Вопрос становится актуальным с учетом находящегося в разработке стандарта IEEE [1].

Однако метод FSV еще мало известен специалистам. Между тем необходимость его быстрого и удобного использования на практике уже назрела. Цель данной работы – описание алгоритма метода FSV.

Структура метода FSV предполагает чтение двух наборов данных с целью их сравнения, полученных при таком изменении общего параметра (часто общего частотного диапазона), что значения этого параметра для обоих наборов данных совпадают. Реальное сравнение основано на декомпозиции исходных данных на трендовую информацию и информацию об особенностях. Поэтому первым шагом является преобразование Фурье над данными и вырезание (фильтрация) преобразованных данных с целью отделить нижнюю и верхнюю части данных. Затем эти нижние и верхние части подвергаются обратному преобразованию Фурье в исходную область. Комбинации этих отфильтрованных данных и их производных используются для вычисления меры различия амплитуд (ADM) и меры различия особенностей (FDM), которые можно объединить в глобальную меру различия (GDM).

Алгоритм метода FSV:

1. *Чтение данных, получение области пересекающихся данных и интерполяция данных, если это необходимо, в области пересечения данных для получения совпадающих пар данных в точках*. Это гарантирует, что сравниваемые наборы данных имеют одно и то же число точек данных, расположенных в одних и тех же позициях независимой оси *X*.

2. *Преобразование Фурье обоих наборов данных*. В случае быстрого преобразования Фурье может потребоваться дополнение нулями, достаточное для выполнения преобразования.

3. *Вычисление нижних наборов данных с использованием трансформированных данных*.

3.1. Игнорирование первых четырех точек данных в преобразованном наборе (в целях недопущения постоянных составляющих) и суммирование значений оставшихся данных.

3.2. Нахождение «40%-точки» путем суммирования данных, начиная с пятой точки и до тех пор, пока сумма не достигнет 40% от значения суммы, вычисленной в п. 3.1. Эта «40%-точка» является нижней из двух результирующих чисел (из двух исходных наборов данных). Берут пятую после этой, переломную, точку данных – величину, позволяющую удобный переход между нижними и верхними наборами результатов.

3.3. Вырезание участка трансформированных данных для обоих наборов данных, используя линейный спад от 3 (или 5) точек до переломной точки до 3 (или 5) после нее. По существу выполняется низкочастотная фильтрация трансформированных данных.

3.4. Выполняем обратное преобразование Фурье вырезанных данных, чтобы получить «нижнюю область» для обоих наборов данных. (Обозначения $Lo_1(f)$ и $Lo_2(f)$ подразумевают, что исходные данные находятся в частотной области, хотя они могут быть как во временной, так и пространственной области).

4. *Получение «верхних» составляющих наборов данных использованием трансформированных данных*. Повторяем процесс с п. 3.3, применяя противоположный наклон к трансформированным данным, по существу выполняя высокочастотную фильтрацию данных. Затем выполняется обратное преобразование этих данных, чтобы получить «верхнюю область» данных для обоих наборов данных.

5. *Вычисление ADM для каждой точки*. Полагая, что наборы данных имеют N точек, а f – номер текущей точки, вычисляется ADM:

$$ADM(f) = \left| \frac{(|Lo_1(f)| - |Lo_2(f)|)}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(|Lo_1(i)| + |Lo_2(i)|)} \right| .$$

6. *Вычисление единого значения ADM*. Вычисляется среднее значение $ADM(f)$ на промежутке между $f_{\min}$ и $f_{\max}$, являющихся нижним и верхним пределами диапазона данных:

$$ADM = \frac{\sum_{f_{\min}}^{f_{\max}} ADM(f)}{N} .$$

7. *Получение гистограммы качества ADM*. Диапазон значений ADM, FDM и GDM делится на 6 категорий: отлично, очень хорошо, хорошо, удовлетворительно, плохо, очень плохо. Гистограмма достоверности, подобно функции плотности вероятности, дает сведения о том, какое относительное количество точек попало под каждую категорию оценки. Числовое значение ADM – качественное значение: $x < 0{,}1$ – отлично; $0{,}1 \le x < 0{,}2$ – очень хорошо; $0{,}2 \le x < 0{,}4$ – хорошо;

$0{,}4 \le x < 0{,}8$ – удовлетворительно; $0{,}8 \le x < 1{,}6$ – плохо; $1{,}6 \le x$ – очень плохо.

8. *Вычисление производных для вычисления FDM*. Вычисляют первые производные от наборов данных $Lo(f)$, $Hi(f)$ и вторые – от $Hi(f)$. Производные выделяют быстрые изменения особенностей исходных данных. Первая производная находится конечной разностью, например, $Lo'(f) = Lo(f+2) - Lo(f-2)$. Вторая производная для «верхних» данных находится из первой производной тем же самым путем: $Hi''(f) = Hi'(f+3) - Hi'(f-3)$.

9. *Вычисление FDM в каждой точке*. FDM состоит из трех частей, основанных на производных, полученных из п. 8.

$$FDM_1(f) = \frac{|Lo_1'(f)| - |Lo_2'(f)|}{\frac{2}{N}\sum_{i=1}^{N}(|Lo_1'(i)| + |Lo_2'(i)|)}, \quad FDM_2(f) = \frac{|Hi_1'(f)| - |Hi_2'(f)|}{\frac{6}{N}\sum_{i=1}^{N}(|Hi_1'(i)| + |Hi_2'(i)|)},$$

$$FDM_3(f) = \frac{|Hi_1''(f)| - |Hi_1''(f)|}{\frac{7{,}2}{N}\sum_{i=1}^{N}(|Hi_1''(i)| + |Hi_1''(i)|)},$$

$$FDM(f) = 2|FDM_1(f) + FDM_2(f) + FDM_3(f)|.$$

10. *Вычисление единого значения и гистограммы качества FDM*. Делается аналогично ADM.

11. *Нахождение GDM в каждой точке:*

$$GDM(f) = \sqrt{ADM^2(f) + FDM^2(f)}.$$

12. *Вычисление единого значения и гистограммы качества GDM*. Делается аналогично ADM и FDM.

ЛИТЕРАТУРА

1. (Draft) Standard for Validation of Computational Electromagnetic(CEM) Computer Modeling and Simulation, and Recommended Practice // IEEE. 2008.

ПЛАН ЧАСТОТНЫХ ПРИСВОЕНИЙ И ВЫДЕЛЕНИЙ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ЭФИРНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.С. Попов, аспирант каф. ТУ, И.И. Альянков, инженер I категории, отдел развития сетей цифрового телерадиовещания, филиал ФГУП «РТРС» «Кемеровский ОРТПЦ»

г. Томск, ТУСУР, т. +7-923-404-28-82, mailrus@bk.ru

Процесс внедрения цифрового телевидения отличается от внедрения других технологий. Появление нового, как правило, не отменяет старого. Цифровое телевидение же должно полностью заменить аналоговое.

После многих лет разговоров о необходимости внедрения в Российской Федерации цифрового телевизионного вещания в стандарте DVB эта задача переходит в практическое русло. Активная роль в этих процессах будет принадлежать ФГУП «РТРС», так как это предприятие обеспечивает общегосударственное и коммерческое эфирное телерадиовещание на территории России. В ведении ФГУП «РТРС» находится до 85% всех телепередатчиков страны, поэтому оно является естественной монополией на рынке телевещания страны. ФГУП «РТРС» приступило к замене старых, уже выработавших свой ресурс аналоговых телепередатчиков на гибридные аналого-цифровые передатчики, способные работать в цифровом режиме вещания. В стране уже несколько лет успешно действуют зоны цифрового телевещания, в том числе в Москве и Санкт-Петербурге [1].

Цифровые ТВ системы по сравнению с аналоговыми системами позволяют добиться лучших радиочастотных характеристик с точки зрения эффективности использования спектра и требований к мощности.

В процессе планирования выделений администрации «предоставляется» конкретный канал для обеспечения покрытия в заданной зоне в пределах ее зоны обслуживания, называемой зоной выделений. Местоположения передатчиков и их характеристики на этапе планирования неизвестны и должны быть определены ко времени преобразования выделения в одно или несколько присвоений.

В процессе планирования присвоений конкретный канал присваивается для места расположения отдельного передатчика с определенными характеристиками передачи (например, излучаемая мощность, высота антенны и т.д.) [2].

Каждой территории на карте соответствуют радиоканалы, определенные документом [3] (таблица).

Радиоканалы цифрового наземного эфирного телевидения, присвоенные для Кемеровской области

Населенный пункт	Канал	Δf, МГц	Канал	Δf, МГц
Анжеро-Судженск	11	206–214	43	646–654
	22	478–486	48	686–694
	23	486–494	56	750–758
	28	526–534	65	814–822
Кемерово	6	174–182	45	662–670
	21	470–478	54	734–742
	34	574–582	60	782–790
	39	614–622	68	828–846
Ключевая	8	190–198	62	790–798
	24	494–502	66	822–840
	35	582–590	69	846–852
	42	638–646	–	–
Ленинск–Кузнецкий	8	190–198	50	702–710
	10	206–214	51	710–718
	30	542–550	55	742–750
	32	558–566	57	750–758
	46	670–678	63	798–806
Междуреченск	9	198–206	49	694–702
	25	502–510	52	718–726
	29	534–542	64	806–814
	31	550–558	67	830–838
	38	606–614	–	–
Новокузнецк	12	222–230	61	782–790
	24	494–502	62	790–798
	41	630–638	66	822–840
	47	678–686	69	846–852
	53	726–734	–	–
Таштагол	6	174–182	50	702–710
	8	190–198	51	710–718
	27	518–526	55	742–750
	35	582–590	57	758–766
	37	598–606	58	766–774
	40	622–630	63	798–806
Юрга	6	174–182	53	726–734
	9	198–206	54	734–742
	26	510–518	60	782–790
	34	574–582	69	846–852
	52	718–726	–	–

Из документа [4] выбраны заявленные координаты (широта, долгота) точек, через которые проходят линии периметров участков, в данном случае участки в Кемеровской области.

На основе этой таблицы составлена карта-схема плана частотных присвоений и выделений в Кемеровской области, где отображены территории частотных присвоений согласно документу [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Организационно-технические мероприятия по внедрению цифрового телевизионного вещания в Российской Федерации // http://www.rtrs.ru/interview.asp?view=14742

2. Критерии планирования сетей цифрового телевизионного вещания в полосах 470–862 МГц // http://www.rfcmd.ru/analytics/006

3. «Заключительные акты» (2006; Женева). «Региональная конференция радиосвязи по планированию цифровой наземной радиовещательной службы в частях районов 1 и 3 в полосах частот 174–230 МГц и 470–862 МГц (РКР–06). 15 мая – 16 июня 2006 г. Женева: Международный союз электросвязи, 2006. 304 с.

4. http://kodu.neti.ee/~jaanuse/rrc06_digital_plan_EST/rrc06_digital_plan_contours.pdf

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМИ РАДИОТЕЛЕВИЗИОННЫМИ ПЕРЕДАТЧИКАМИ

А.С. Попов, аспирант каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, т. +7-923-404-28-82, mailrus@bk.ru

На сегодняшний момент использование современных телекоммуникационных технологий позволяет построить качественное, надежное и экономически обоснованное управление передающим комплексом [1].

Система дистанционного контроля и управления радиотелевизионными передатчиками включает в себя, по меньшей мере, один управляющий модуль для дистанционного управления, один исполнительный модуль, при этом управляющий модуль включает микроконтроллер, управляющий беспроводным приемопередатчиком, управляющий модуль, который посредством приемопередатчика осуществляет обмен кодированными сигналами с исполнительным модулем, один исполнительный модуль, включающий приемопередатчик, посредством которого осуществляется обмен кодированными сигналами с управляющим модулем, микроконтроллер с аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и последовательно установленные разъем для подключения к электросети, датчик тока, реле размыкания/замыкания

и разъем для подключения электроприбора (рис. 1). При этом датчик тока связан с микроконтроллером с АЦП, микроконтроллер с АЦП связан с приемопередатчиком для передачи величины потребляемого электроприбором тока на управляющий модуль, кроме того, по сигналу управляющего модуля, принятого приемопередатчиком, микроконтроллер с АЦП управляет реле размыкания/замыкания [2].

Система предназначена для дистанционного контроля основных рабочих параметров и управления оборудованием. Управление оборудованием осуществляется по сетям Ethernet (также поддерживается маршрутизация через Интернет и другие сети с поддержкой протокола TCP/IP), GSM и проводной телефонной линии.

Функциональные возможности:

– контроль и управление параметрами оборудования, опрашиваемого внутренним контроллером, – напряжения и токи всех источников питания передатчика, температура внутри блоков, падающая, отраженная и входная мощности и т.п. (зависит от состава конкретного передатчика);

– включение–выключение оборудования;

– интерфейс управления внешними устройствами;

– контроль состояния внешних датчиков (пожарная сигнализация, охранная сигнализация, температура в помещении и т.п.).

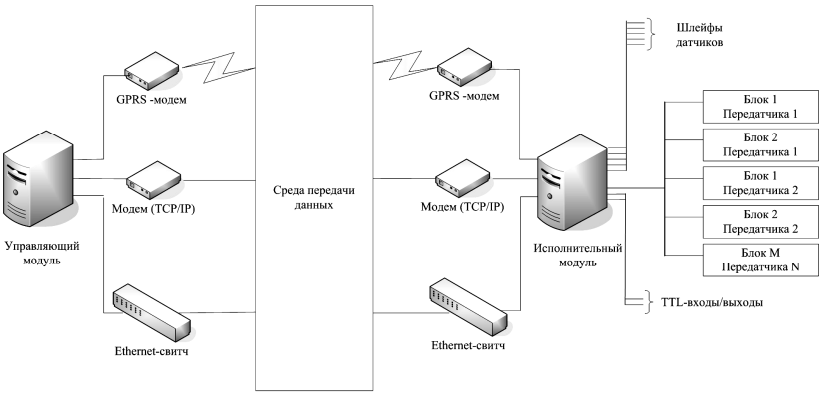


Рис. 1. Структурная схема системы дистанционного контроля и управления цифровыми радиотелевизионными передатчиками

Исполнительный модуль коммутирует данные из сети RS-485 в сети Ethernet, GSM или телефонные. Помимо этого, блок имеет TTL-входы, состояние которых опрашивается программой. Их можно использовать, например, для подключения датчиков сигнализации (пожарной, охранной и т.п.).

Также исполнительный блок позволяет удаленно управлять выходами TTL, которые можно подключить к исполнительным механизмам, включения–выключения вентиляции и т.п.

Имеются входы видеодетекторов, состояние которых доступно программно. Эти входы можно использовать для дополнительного контроля оборудования (видеонаблюдение), подключенного к исполнительному модулю [3].

Отличительной чертой организации вещания на объектах связи является его низкая рентабельность, где содержание технического штата занимает существенную часть всех расходов, связанных с финансированием вещания. Оптимальным решением в такой ситуации служит создание необслуживаемых объектов связи с системой дистанционного управления и контроля передатчиками [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. http://broadcasting.ru/articles2/newproducts/sist_distanc_kontr_i_upravl_peredatch_realizov_v_len_obl.
2. Пат. 72100 Рос. Федерация: МПК H02J13/00 Система дистанционного управления электроприборами / Смагин А.К., Русанов А.А., опубл. 27.03.2008.
3. http://www.microtec.ru/content/photos/products/files/16.pdf.

МОДАЛЬНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОПАСНОГО ИМПУЛЬСА В ТРЕХ ОТРЕЗКАХ КАБЕЛЯ СИЛОВОГО ПИТАНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ НА ПАССИВНОМ ПРОВОДНИКЕ

И.Е. Самотин, А.М. Заболоцкий, аспиранты ТУСУР
г. Томск, ТУСУР

На современном этапе развития радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) одним из основных этапов при разработке становится этап, связанный с обеспечением электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭА. Весьма актуальной в данном случае является проблема защиты РЭА от электромагнитных воздействий, имеющих кондуктивный характер.

Особо опасным кондуктивным воздействием является мощный короткий импульс, способный вывести аппаратуру из строя. Существующие средства защиты РЭА при своем высоком быстродействии имеют недостаточные мощностные показатели, а мощные, в свою очередь, не могут обеспечить достаточное быстродействие. К тому же такие устройства требуют больших затрат при разработке и производстве.

Исходя из этого, можно судить о том, что устройства защиты, построенные на таких принципах, не могут гарантировать полную защищенность РЭА от короткого импульса большой мощности. Поэтому

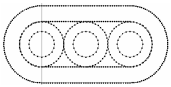
к решению сложившейся проблемы необходим подход, основанный на совершенно новых принципах реализации защиты РЭА.

Ранее был предложен новый подход к решению данной проблемы [1]. Основан он на эффекте модальной фильтрации, смысл которой заключен в делении опасного короткого импульса на импульсы с меньшими амплитудами. Эффект модальной фильтрации малоизучен, что пока не позволяет говорить о создании защиты РЭА, основанной на этом принципе.

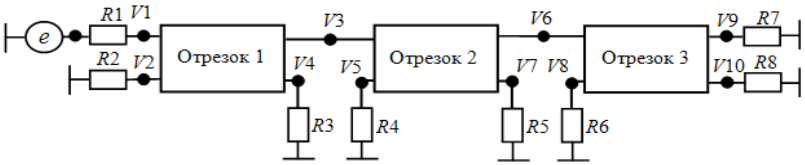
Цель данной работы – продолжить исследование эффекта модальной фильтрации в реальных структурах связанных линий.

В работе продолжено исследование эффекта модальной фильтрации в более сложной структуре. Предыдущая работа [1] содержит исследования структур, состоящих из одиночных и двух последовательно соединенных отрезков кабелей силового питания марок ВВГ и ПУГНП. В данной работе число отрезков исследуемой структуры увеличено до трех. Вид поперечного сечения кабелей и схема исследуемой структуры представлены на рис. 1.

Моделирование произведено в системе компьютерного моделирования электромагнитной совместимости TALGAT и сводилось к построению геометрической модели поперечного сечения структуры, разбиению ее границ на сегменты и вычислению погонных коэффициентов матриц электромагнитной (**L**) и электростатической (**C**) индукции, коэффициентов матрицы импедансов (**Z**), погонных задержек мод и их разности; временного отклика. Геометрические параметры, задаваемые в процессе моделирования, сняты с реальных кабелей. Потери и дисперсия в проводниках полагались отсутствующими.



а



б

Рис. 1. Поперечное сечение кабеля (*а*),
структура с тремя последовательно соединенными отрезками (*б*)

Сигнал (короткий импульс) подавался между левым (активным) и центральным (опорным) проводниками (см. рис. 1, *а*). Правый проводник – пассивный. Отклики вычислены во всех узлах структуры. При этом рассмотрены следующие варианты моделирования структу-

ры: псевдосогласования (ПС) – номиналы всех нагрузочных резисторов равны значениям вычисленных диагональных коэффициентов матрицы **Z**; рассогласования (РС) – номиналы нагрузочных резисторов активной линии принимались равными значениям диагональных коэффициентов матрицы **Z**, а номиналы на пассивной линии – из условия короткого замыкания (КЗ) либо холостого хода (ХХ).

Результаты для некоторых вариантов включения отрезков, полученные в процессе моделирования, приведены на рис. 2. Рисунок 2, *а* отображает формы сигналов в начале (*V*1) и конце (*V*9) активного проводника (кабель ПУГНП 3×4) структуры с тремя последовательно включенными отрезками. При этом структура находилась в режиме ПС. На рис. 2, *б* представлены формы сигналов также в начале и конце активного проводника структуры из трех отрезков, но уже в режиме РС: номиналы согласующих резисторов на активном проводнике выбраны из условия ПС, первый и второй пассивные проводники заземлены, третий – на ХХ.

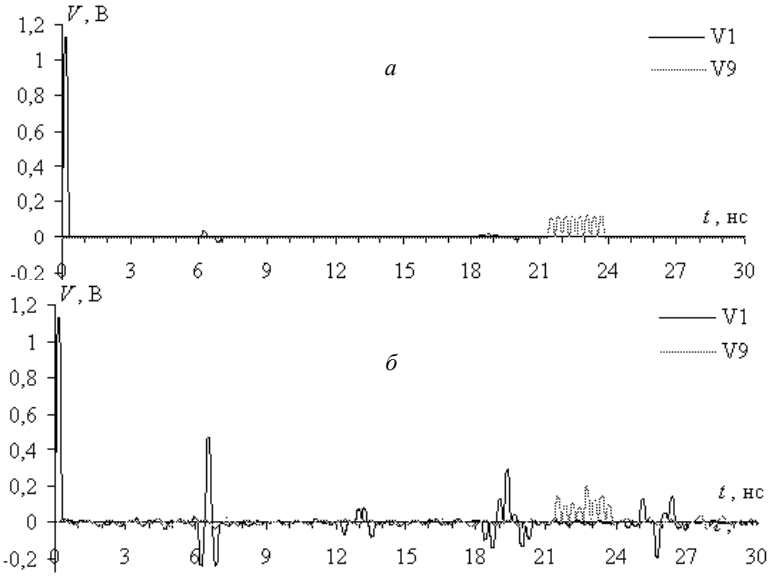


Рис. 2. Формы сигналов на активном проводнике структуры в режиме: *а* – псевдосогласования; *б* – рассогласования

В предыдущей работе в структуре (ПС) с одиночным и двумя последовательно включенными отрезками показано деление короткого импульса на 2 и 4 импульса соответственно. В первом случае амплитуды полученных импульсов были в 2 раза меньше амплитуды пода-

ваемого импульса, а во втором – в 4. Теперь в структуре, состоящей из трех аналогичных отрезков, получено деление исходного импульса на 8 импульсов, с амплитудами, в 8 раз меньшими по отношению к входному.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы: 1) увеличение количества отрезков данной структуры приводит к более сильному подавлению опасного импульса; 2) рассогласование структур приводит к появлению сильных отражений в линии, что практически отсутствует при ПС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самотин И.Е., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Разложение короткого импульса в отрезках кабеля силового питания при различных граничных условиях на концах пассивного проводника // Материалы научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 29–30 сентября 2008 г. Томск, 2008.

ОТКАЗЫ И НЕПРЕДВИДЕННЫЕ СИТУАЦИИ В РАБОТЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ, СВЯЗАННЫЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОМЕХАМИ

Т.Н. Савельева, студентка
г. Томск, ТУСУР, tatiana115@mail.ru

Большое количество современного электронного оборудования испытывает в своей работе проблемы с электромагнитными помехами (ЭМП). Однако сведений на данную тему немного, так как в публикации такого рода информации производящая сторона не заинтересована, поэтому анализ публикаций по проблемам электромагнитной совместимости очень важен. Одной из них является статья [1], в которую включены проблемы с ЭМП в космических аппаратах (рассмотренные в [2]), а также в других электронных системах, анализ которых кратко представлен в настоящей публикации.

Случаи с летательными аппаратами, кораблями и автомобилями. Военный корабль США *Forrestall* – при приземлении реактивного самолета военно-морского флота на авианосец произошел неуправляемый сброс военного снаряжения, которое ударило по вооруженному и заправленному истребителю на палубе, в результате погибли 134 моряка, авария была вызвана приземляющимся самолетом, облучаемым радиолокационной станцией авианосца, результирующая ЭМП послала нежелательный сигнал в систему вооружения; случай

с выключением питания – произошло отключение питания вследствие того, что передачи на высокой частоте вызвали неверные показания датчика давления масла.

Беспилотный летательный аппарат PIONEER – блоки дистанционного управления приняли высокочастотную ЭМП от передающих антенн связи, что вызвало нежелательные сигналы, следствием стала потеря управления и аварийная посадка; катастрофа британского корабля *Sheffield* – система противоракетной обороны создавала ЭМП радиосвязи личного состава реактивных самолетов *Harrier* и была отключена, в итоге корабль получил тяжелые повреждения от ракеты *Exocet* и затонул.

Случай со стабильностью бомбардировщика B-52 – использование высокочастотной радиосвязи вызвало неуправляемую активацию всех поверхностей управления полетом в хвостовой части самолета; интерфейсный блок ракеты B-52 – был послан неуправляемый сигнал запуска ракеты, способствующими факторами были перекрестная наводка в электропроводке систем и несоблюдение стандартных требований по ЭМС.

Случай с вертолетом *Blackhawk* UH-60 – испытывалось неуправляемое движение стабилизатора, что было вызвано влиянием ЭМП от высокоинтенсивных излучаемых полей (HIRF) (вертолет пролетал мимо радиовещательной вышки); вертолет *Apache* AH-64 – сигналы HIRF оказывали влияние на электронику; система захвата цели F-117A – использование недостаточного экранирования и устаревших конструкций аппаратуры вызвало проблемы с захватом цели.

Контроль полета F-16 – истребитель потерпел крушение в окрестности радиопередатчика «Голос Америки» (VOA) из-за того, что его система управления полетом была восприимчива к передаваемым HIRF.

Проблемы с аэростатом – при полете вблизи передатчика VOA у аэростата дважды отказал мотор.

Автоматический радиопеленгатор (ADF) «Боинга 747» – аудиоприем связными радиоприемниками «Боинга 747» был невозможен при использовании системы ADF, проблемой была наводка между проводами, т.к. антенный ввод ADF был недостаточно далеко расположен от другой проводки.

Катастрофа в Североморске – в середине мая 1984 г. взорвался советский склад с боеприпасами, причиной этого происшествия была загоризонтная РЛС, которая облучала склад.

Случай с истребителем *Tornado* – истребитель потерпел крушение после того, как слишком близко пролетел от мощного передатчика VOA.

Удар по Ливии – несколько ракет не выполнили удар по назначенным целям и истребитель F-11 потерпел крушение из-за ЭМП между передатчиками самолета.

Отказ противоблокировочной тормозной системы (ABS) – из-за неправильного функционирования тормозов имели место дорожно-транспортные происшествия, ЭМП нарушали систему управления ABS.

Случай с *Mercedes-Benz* – автомобили имели серьезные проблемы с тормозами вдоль определенного участка немецкого автобана, тормоза были подвержены влиянию близко находящегося радиопередатчика.

Случаи с устройствами, проносимыми пассажирами на борт самолета. Рабочие частоты сотовых телефонов, компьютеров, радио- и электронных игр часто являются источниками ЭМП. Многие авиакомпании установили правила, запрещающие или ограничивающие использование этих устройств.

NASA поддерживает базу данных, известную как Система отчетности о безопасности авиации (ASRS), которая состоит из произвольных докладов, детально описывающих проблемы безопасности и сделанных пилотами и членами экипажа, летавшими на многих коммерческих и частных самолетах. Эти доклады являются по большей части анонимными, с неуказанными моделями самолетов и компаниями. На момент выхода работы [1] база данных содержала 46798 докладов. Поиск случаев, связанных с устройствами, проносимыми пассажирами, дал 56 ситуаций, 29 из которых возникли по причине ЭМП.

Случаи с медицинским оборудованием. Современное медицинское оборудование испытывает проблемы с ЭМП. С 1979 по 1993 г. FDA (управление по контролю за продукцией) получило более 90 отчетов, имеющих отношение к ЭМП в этой области. Пользователи, наблюдающие ухудшение характеристик работы медицинского оборудования, могут и не подозревать ЭМП как возможную причину этого. Таким образом, проблемы ЭМП являются, вероятнее всего, недостаточно освещенными для FDA. Проведенная статистика показывает, что 6 смертей произошли в исследуемый период из-за возникновения ЭМП в медицинском оборудовании.

Случаи, приведенные в [1], выявляют проблемы, с которыми столкнулся персонал по ЭМС в наиболее сложных электронных системах, имеющихся в различных программах. Исследование трех наиболее важных направлений в современной электронике дает указание на характер этих проблем в будущем. Ими являются:

1) увеличение восприимчивости электронных систем к ЭМП;
2) увеличение использования автоматизированных электронных систем в летательных аппаратах;
3) увеличение загрязнения электромагнитной обстановки.

В заключение представляется важным отметить следующее:

1) Персонал NASA по ЭМС проделал серьезную работу по применению техники и принципов ЭМС и использованию полученного опыта для предотвращения серьезных аномалий, вызываемых ЭМП.

2) Установлено, что использование новейших принципов, стандартов и процедур испытания на ЭМС чрезвычайно важно.

3) HIRF могут оказывать серьезное влияние на современные электронные системы. Последствия ЭМП для автоматических электронных систем, используемых для критических функций, становятся все более серьезными.

4) Использование обычной коммерческой аппаратуры (COTS) потенциально повышает риск возникновения ЭМП.

5) Все, кто работает с современными электрическими или электронными системами, должны быть осведомлены о потенциальных опасностях ЭМП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельева Т.Н., Газизов Т.Р. Нештатные ситуации из-за электромагнитных помех в космических системах NASA // Материалы научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 29–30 сентября 2008 г. Томск, 2008.

2. Reach R.D., Alexander M.B. Electronic Systems Failures and Anomalies Attributed to Electromagnetic Interference // NASA Reference Publication 1374, July 1995.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

О.В. Сионина, студентка

г. Томск, ТУСУР, sionina-9@mail.ru

Любое изображение, вводимое в компьютер, оцифровывается и хранится в нем в виде битовой карты или, иначе говоря, матрицы, каждый элемент которой описывает яркость и цвет точки на исходном изображении. Количество элементов матрицы или точек изображения зависит от разрешения, выбранного при оцифровке. Однако хранить ее в таком виде не выгодно из-за использования большого количества компьютерной памяти. Поэтому в настоящее время разработаны многочисленные алгоритмы кодирования видеоинформации, из которых важно выбрать именно тот вид сжатия, который наилучшим образом отвечает поставленным требованиям: качеству изображения, скорости преобразования, величине сжатия. Целью данной работы является анализ эффективности метода вейвлет-преобразования.

Вейвлеты (от англ. *wavelet*), всплески – это математические функции, позволяющие анализировать различные частотные компоненты данных. **Wavelet** – это семейство функций, которые локальны во времени и частоте и в которых все функции получаются из одной посредством ее сдвигов и растяжений по оси времени так, что они «идут друг за другом», благодаря чему появляется возможность анализа сигнала во всех точках. Первой особенностью Wavelet является то, что они обладают свойством одновременной локальности по частоте и по времени. Именно это свойство сделало их столь пригодными для применения. А наибольшей популярностью Wavelet стали пользоваться, когда открыли еще одно их свойство – наличие быстрого алгоритма преобразования [1].

Для работы с дискретными изображениями используется вариант вейвлет-преобразования, известный как алгоритм Малла. Исходное изображение раскладывается на две составляющие – высокочастотные детали, состоящие в основном из резких перепадов яркости, и сглаженную уменьшенную версию оригинала. Это достигается применением пары фильтров, причем каждая из полученных составляющих вдвое меньше исходного изображения. Поскольку изображения двумерны, фильтрация производится и по вертикали, и по горизонтали (рис. 1). Этот процесс повторяется многократно, причем каждый раз в качестве входа используется сглаженная версия с предыдущего шага. Для восстановления оригинала снова применяется алгоритм Малла, но с парой фильтров, обратной к исходным [2].

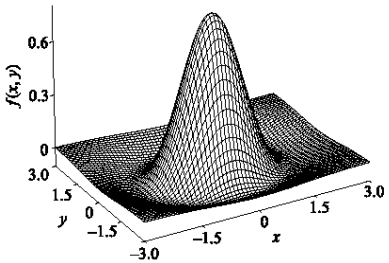


Рис. 1. Вейвлет на плоскости

Сравнительный анализ алгоритмов сжатия. Несмотря на растущий объем памяти носителей информации и увеличение пропускной способности каналов связи, повышение эффективности сжатия видеоматериала по-прежнему остается актуальной задачей, поскольку требования к качеству видео растут вместе с доступными вычислительными ресурсами. Задачи увеличения эффективности кодирования неразрывно связаны с задачами повышения качества изображения, поэтому проведение исследований и разработка алгоритмов компенсации и устранения искажений в кодированном сигнале телевизионных изображений является перспективным направлением исследований. Сравним следующие методы сжатия информации по критерию отношения сигнал/шум, структурного подобия деблокинга и вычислительной

сложности алгоритмов с учетом количества инструкций, затраченных на обработку одного кадра: JPEG, MPEG, Wavelet, Fractal. Определенно сказать, какой из методов лучше, невозможно, так как сравнение производилось по нескольким параметрам. Каждый из методов имеет свои преимущества, но и свои недостатки. Алгоритмы JPEG и MPEG, в отличие от вейвлетного, сжимают по отдельности каждый блок исходного изображения размером 8 на 8 пикселей. В результате за счет потери данных при сжатии на восстановленном изображении может быть заметна блочная структура. При вейвлетном сжатии такой проблемы не возникает, но могут появляться искажения другого типа, имеющие вид «призрачной» ряби вблизи резких границ. Считается, что такие артефакты в среднем меньше бросаются в глаза наблюдателю, чем «квадратики», создаваемые MPEG.

При JPEG и MPEG преобразовании нет видимого ухудшения при 10–20-кратном сжатии, но при высоких коэффициентах сжатия видео кажется ступенчатым, зато при Wavelet преобразовании видео выглядит лучше даже при высоком сжатии потому, что человеческий глаз воспринимает размытое изображение лучше, чем разрозненные блоки.

Для **JPEG** типична скорость передачи данных 8 Мб/с. Их трудно передавать и почти невозможно хранить. Однако, несмотря на недостатки, JPEG получил очень широкое распространение из-за высокой степени сжатия относительно существующих во время его появления альтернатив.

Fractal имеет высокий коэффициент сжатия для изображений, имеющих большие зоны с повторениями, такие как небо, вода и т.п., но медленно сжимается, требует интенсивной обработки, имеет несовместимость между разными производителями [2].

Сравнение эффективности широко применяемых в настоящее время стандартов преобразования позволяет сделать следующие выводы. Наименее затратные по объему вычислений являются алгоритмы в стандартах MPEG, позволяющие наиболее эффективно повысить качество изображений стандартной четкости. Применение Wavelet-сжатия открыло перед системами видеонаблюдения новые возможности. Сжатое видео для малого объема передаваемой информации до 400 Кбит/с, при компрессии 150:1 может быть передано через сеть Internet, по модему или по мобильному телефону, что позволяет дистанционно наблюдать за подвижными объектами практически в режиме реального времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астафьева Н.М. Вейвлет-преобразования. Основные свойства и примеры применения. М.: ИКИ РАН, 1994. 56 с.

2. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: Изд-во ВУС, 1999. 208 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ДОПУСКА ОБНУЛЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ СЛАУ ИТЕРАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

С.Т. Сивцев, студент 5-го курса
г. Томск, ТУСУР, uraandhai@mail.ru

При решении задач вычислительной электродинамики часто используются системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Например, решение задач излучения или рассеяния электромагнитной волны сложными объектами может быть получено с помощью интегральных уравнений, сводящихся методом моментов к СЛАУ $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$, где $\mathbf{A}$ – плотная комплексная квадратная ($N \times N$) матрица; $\mathbf{b}$ – вектор свободных членов; $\mathbf{x}$ – вектор неизвестных (вектор-решение) [1].

Для решения СЛАУ с плотными матрицами, с точки зрения минимизации вычислительных затрат, лучше всего использовать итерационные методы. Однако матрица СЛАУ, полученная методом моментов, является, как правило, плотной и плохо обусловленной. Поэтому целесообразнее использовать итерационные методы с предобусловливанием [2]. Поскольку матрица плотная, то необходимо определить структуру разреженности матрицы предобусловливания с помощью предфильтрации исходной матрицы путем обнуления элементов, которые меньше определенного порога, задаваемого таким параметром, как допуск обнуления τ [3]. Известно, что τ можно оптимизировать по критерию минимизации времени решения СЛАУ, но каким будет оптимальный допуск обнуления для каждой конкретной задачи, невозможно сказать заранее. Если бы можно было сразу определить τ, при которой решение СЛАУ может быть наибыстрейшим, экономия временных ресурсов была бы существенной.

Система $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ решалась итерационным методом BiCGStab [4] на примере определения токов в проводной антенне (диполь с углом между лучами 180°). Вычисления проводились для 450, 600, 750 и 900 МГц. За начальное приближение вектора решения принималось равенство всех его элементов 0,1. В качестве способов формирования матрицы предобусловливания использовалось полное LU-разложение. В качестве способа предфильтрации использовался подход, основанный на нормах строк матрицы и задаваемом допуске обнуления τ [3]. Результаты (T – время решения СЛАУ, N_{it} – число итераций) вычислений приведены в табл. 1–4.

Из таблиц видно, что границы значений допуска обнуления, при которых время решения СЛАУ меньше времени заполнения матрицы, сужаются с ростом частоты, но не выходят за рамки граничных значений, которые были получены при самой грубой оценке и при самой низкой частоте (см. табл. 1).

Таблица 1

Вычисления прекращались при достижении 50 итераций или точности до третьего знака после запятой

Частота	τ	10^{-1}	$5{\cdot}10^{-2}$	10^{-2}	$5{\cdot}10^{-3}$	10^{-3}	$5{\cdot}10^{-4}$	10^{-4}	$5{\cdot}10^{-5}$	10^{-5}	$5{\cdot}10^{-6}$	10^{-6}
300 МГц, время заполнения – 5 с	T, с	6	5	1	1	1	1	1	1	2	4	22
	N_{it}	31	23	1	1	1	1	1	1	1	1	1
450 МГц, время заполнения – 13 с	T, с	22	19	3	3	3	3	4	4	6	10	58
	N_{it}	50	43	1	1	1	1	1	1	1	1	1
600 МГц, время заполнения – 23 с	T, с	39	39	6	6	6	6	7	7	12	18	110
	N_{it}	50	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1
750 МГц, время заполнения – 37 с	T, с	61	61	9	9	10	10	11	12	19	29	181
	N_{it}	50	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1
900 МГц, время заполнения – 52 с	T, с	99	94	19	17	17	14	16	17	27	43	271
	N_{it}	50	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблица 2

Вычисления прекращались при достижении 180 итераций или точности до третьего знака после запятой

Частота	τ	10^{-1}	$5{\cdot}10^{-2}$	10^{-2}	$5{\cdot}10^{-3}$	10^{-3}	$5{\cdot}10^{-4}$	10^{-4}	$5{\cdot}10^{-5}$	10^{-5}	$5{\cdot}10^{-6}$	10^{-6}
300 МГц, время заполнения – 5 с	T, с	6	5	1	1	1	1	1	1	2	4	22
	N_{it}	31	23	1	1	1	1	1	1	1	1	1
450 МГц, время заполнения – 13 с	T, с	34	19	3	3	3	3	4	4	6	10	58
	N_{it}	82	43	1	1	1	1	1	1	1	1	1
600 МГц, время заполнения – 23 с	T, с	99	92	6	6	6	6	7	7	12	18	110
	N_{it}	138	128	1	1	1	1	1	1	1	1	1
750 МГц, время заполнения – 37 с	T, с	199	199	9	9	10	10	11	12	18	29	181
	N_{it}	180	180	1	1	1	1	1	1	1	1	1
900 МГц, время заполнения – 52 с	T, с	303	299	18	17	16	21	22	21	31	47	280
	N_{it}	180	180	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблица 3

Вычисления прекращались при достижении 50 итераций или точности до восьмого знака после запятой

Частота	τ	10^{-1}	$5{\cdot}10^{-2}$	10^{-2}	$5{\cdot}10^{-3}$	10^{-3}	$5{\cdot}10^{-4}$	10^{-4}	$5{\cdot}10^{-5}$	10^{-5}	$5{\cdot}10^{-6}$	10^{-6}
300 МГц, время заполнения – 5 с	T, с	8	9	6	5	3	3	2	2	3	4	22
	N_{it}	43	47	30	43	12	10	6	5	3	2	1
450 МГц, время заполнения – 13 с	T, с	22	22	22	18	9	7	6	6	7	11	59
	N_{it}	50	50	49	39	15	12	7	6	4	3	2
600 МГц, время заполнения – 23 с	T, с	39	39	39	39	18	16	12	12	14	20	111
	N_{it}	50	50	50	50	23	16	10	8	5	4	2
750 МГц, время заполнения – 37 с	T, с	64	63	61	61	33	26	21	19	23	32	183
	N_{it}	50	50	50	50	23	16	10	8	5	4	2
900 МГц, время заполнения – 52 с	T, с	104	91	104	95	56	52	53	34	37	51	277
	N_{it}	50	50	50	50	23	18	12	8	5	4	2

Таблица 4

Вычисления прекращались при достижении 180 итераций или точности до восьмого знака после запятой

Частота	τ	10^{-1}	$5\cdot10^{-2}$	10^{-2}	$5\cdot10^{-3}$	10^{-3}	$5\cdot10^{-4}$	10^{-4}	$5\cdot10^{-5}$	10^{-5}	$5\cdot10^{-6}$	10^{-6}
300 МГц, время заполнения – 6 с	T, с	8	9	6	5	3	3	2	2	3	4	22
	N_{it}	43	47	30	23	12	10	6	5	3	2	1
450 МГц, время заполнения – 13 с	T, с	44	37	22	18	9	7	6	6	7	11	59
	N_{it}	109	90	49	39	15	12	7	6	4	3	2
600 МГц, время заполнения – 23 с	T, с	127	127	65	41	18	16	12	12	14	20	111
	N_{it}	180	180	88	53	19	16	9	7	4	3	2
750 МГц, время заполнения – 37 с	T, с	199	199	138	109	33	26	21	19	23	32	182
	N_{it}	180	180	122	95	23	16	10	8	5	4	2
900 МГц, время заполнения – 52 с	T, с	295	301	307	113	61	49	39	33	38	57	280
	N_{it}	180	180	180	61	23	18	12	8	5	4	2

Кроме того, в этом случае время решения СЛАУ тоже минимизировано. С ростом точности вычислений сужается и максимальное количество итераций, границы поиска оптимального τ сужаются, хотя при этом на решение СЛАУ необходимо намного больше времени (см. табл. 2–4). Таким образом, для первоначальной оценки области, в которой лежит τ, при котором задача может быть решена с минимальными временными затратами, вполне возможно рассмотрение упрощенной модели поставленной задачи. Это позволит получить хотя бы приблизительную область значений допуска обнуления при которой СЛАУ решается вообще и с высокой скоростью, вместо того чтобы задавать τ наугад.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Баландин М.Ю., Шурина Э.П.. Методы решения СЛАУ большой размерности. Новосибирск: НГТУ, 2000.

3. Газизов Т.Р., Куксенко С.П. Оптимизация допуска обнуления при решении СЛАУ итерационными методами с предобусловливанием в задачах вычислительной электродинамики // Электромагнитные волны и электронные системы. 2004. № 8. С. 26–28.

4. Barrett R., Berry M., Chan T.F. et al. Templates for the solution of linear systems: building block for iterative methods. Philadelphia: AM, 1994.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЕМЕЙСТВА MPEG

С.А. Ткачева, Н.И. Богатырева, студентки
г. Томск, ТУСУР, т. 8-913-107-22-72, tksofya89@,yandex.ru

Огромное количество аудиовизуальной информации стало доступно в цифровой форме во Всемирной паутине в виде цифровых архивов, широковещательных потоков, а также в форме частных или профессиональных баз данных. Видео- и аудиоданные по своей природе занимают чрезвычайно большой объем. А для современного мира это неприемлемо. Экономика диктует необходимость сжатия видеоинформации. Естественно, любое сжатие ухудшает качество визуализации. Важной задачей на сегодняшний момент является нахождение оптимального по соотношению качество/объем способа кодирования видео. Цель работы заключается в том, чтобы выявить наиболее эффективные способы преобразования (сжатие и обратный процесс) видеосигналов стандартов MPEG.

Разновидность стандартов сжатия MPEG. В январе 1988 г. в рамках объединенного технического комитета по информационным технологиям JTC1 Международной организации по стандартизации ISO и Международной электротехнической комиссии IEC была образована рабочая группа экспертов по кодированию движущихся изображений, перед которой была поставлена задача разработки стандартов кодирования изображения и звука с целью устранения избыточности. Группа получила официальное наименование ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 (11-я рабочая группа 29-го подкомитета), но мировую известность она приобрела под названием MPEG – Moving Picture Expert Group. На данный момент существует четыре применяемых стандарта MPEG для передачи видео- и аудиоинформации.

MPEG-1 был стандартизован и начал использоваться в 1993 г. Он был предназначен для сжатия и хранения видео на компакт-дисках. Большинство кодирующих устройств MPEG-1 и декодеров разработаны для скорости передачи данных порядка 1,5 Mbit/s при разрешении CIF (352×240×30, 352×288×25). Основной упор при его разработке делался на сохранении постоянной скорости передачи, при переменном качестве видеоизображения, сравнимым с качеством VHS. При кодировании используется дискретно-косинусное преобразование – выполняется аппроксимация внутри блока 8×8 пикселей волновыми функциями. Скорость передачи видеоизображения в MPEG-1 ограничена 25 кадрами в секунду разрешением 352×288 в стандарте PAL и 30 кадр/с с разрешением 352×240 в NTSC. Также включает в себя Layer 3 (MP3) формат аудиосжатия.

Плюсы стандарта MPEG-1: сравнительно простой в аппаратной реализации, содержит преобразования, поддерживаемые на аппарат-

ном уровне большим количеством видеокарт. Минусы стандарта: невысокая степень сжатия, малая гибкость формата. В данный момент этот стандарт практически не используется.

MPEG-2 был принят в качестве стандарта в 1994 г. для применения в высококачественном цифровом видео (DVD с разрешением 704×480×30), цифровом телевидении высокого качества (HDTV с расширением 1440×1152×30), интерактивных носителях информации (ISM), цифровом радиовещательном видео (DBV) и кабельном телевидении (CATV). При разработке MPEG-2 усилия были сосредоточены на расширении техники сжатия MPEG-1, позволяющей обрабатывать большие изображения с более высоким качеством при более низкой степени сжатия и более высокой скорости побитной передачи данных. Так же, как и в MPEG-1, при кодировании используется дискретно-косинусное преобразование, но обрабатываемые блоки увеличены в 4 раза – 16×16 пикселей. Скорость передачи видеоизображения ограничена 25 кадрами в секунду в стандарте PAL и 30 в NTSC, так же, как в MPEG-1 [1].

MPEG-4 – дальнейшее развитие стандарта MPEG-2. Был стандартизован со стороны ISO/IEC в 1999 г. Целью создания MPEG-4 была выработка стандарта кодирования, допускающего «универсальный доступ» к мультимедийной информации с учетом возможных ограничений полосы пропускания, возникающих в сетях при самых разных условиях. Другими словами, один и тот же видеофрагмент может быть представлен с различным качеством для различных каналов в зависимости от их пропускной способности. Таким образом, MPEG-4 – первый реальный мультимедийный стандарт для представления данных, позволяющий интерактивно работать с комбинациями натурального (снятого с помощью видеокамеры или записанного с помощью микрофона) и синтетического (сгенерированного на компьютере) материала, закодированного в виде объектов (он моделирует аудиовизуальные данные, как комбинацию таких объектов). Это интерактивное и мобильное мультимедиа, интерактивная графика и улучшенное цифровое телевидение. MPEG-4 использует технологию так называемого фрактального сжатия изображения [2].

MPEG-7. В октябре 1996 г. группа MPEG приступила к разработке формата сжатия MPEG-7, призванного определить универсальные механизмы описания аудио- и видеоинформации. Этот формат получил название Multimedia Content Description Interface. В отличие от предыдущих форматов сжатия семейства MPEG, MPEG-7 описывает информацию, представленную в любой форме, и не зависит от среды передачи данных. Формат сжатия MPEG-7 использует многоуровневую структуру описания аудио- и видеоинформации. На высшем уровне прописываются свойства файла, такие как название, имя создателя,

дата создания и т.д. На следующем уровне описания формат сжатия MPEG-7 указывает на особенности сжимаемой аудио- или видеоинформации – цвет, текстура, тон или скорость. Одной из отличительных особенностей MPEG-7 является его способность к определению типа сжимаемой информации. В общем MPEG-7 предлагает полный набор аудиовизуальных средств описания, которые образуют базис для приложений, делая возможным высококачественный доступ к мультимедийному материалу, что предполагает хорошие решения для записи, идентификации материала, обеспечения прав собственности и быстрой, эргономичной, точной целевой фильтрации и поиска. Аудиовизуальный материал MPEG-7 может включать в себя статические изображения, графику, 3D-модели, звук, голос, видео- и композитную информацию о том, как эти элементы комбинируются при мультимедийной презентации [3].

Заключение. С каждым годом человечество умнеет и требует для себя все больше качественного любого типа информации, удовлетворяющей мельчайшие прихоти. Развитие стандартов сжатия MPEG идет быстрыми темпами от примитивного MPEG-1 до высокоскоростного, высококачественного формата сжатия MPEG-7. Каждый из видов семейства MPEG нашел свою область применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Севальнев Л. Международный стандарт кодирования с информационным сжатием MPEG-2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://rus.625-net.ru/625/1997/01/mpeg2.html, свободный.

2. Фоминов О. Мультимедиа и сети // Мультимедиа. Цифровое видео. 1997. № 5–8 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.techdeal.ru/pressa2.html, свободный.

3. Семенов Ю.А. Стандарт MPEG-7 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://mpeg.telecomitalialab.com/standards/mpeg-7.html, свободный.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕСИММЕТРИЧНОГО ВИБРАТОРА НА ИДЕАЛЬНО ПРОВОДЯЩЕЙ ПЛАСТИНЕ И В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ КОРПУСЕ СО ЩЕЛЯМИ

А.В. Толок, студент

г. Томск, ТУСУР, remixal@sibmail.com

В настоящее время спектр систем электродинамического анализа весьма широк, поэтому перед разработчиками аппаратуры возникает сложность выбора оптимальной системы. Важным при проектировании аппаратуры является учет требований ЭМС. В данной работе исследуется характер зависимости коэффициента отражения несимметричного вибратора (НВ). В качестве тестовых структур были выбраны:

НВ на идеально проводящей пластине, металлический корпус с двумя щелями, возбужденный несимметричным вибратором. В работе приведены результаты компьютерного моделирования данных структур в системе CST MICROWAVE STUDIO (CST MWS).

Система CST MWS использует метод конечных интегралов (Finite Integral Technique, FIT) – достаточно общий подход, который сначала описывает уравнения Максвелла на пространственной сетке с учетом закона сохранения энергии, а затем по ним формирует систему специфических дифференциальных уравнений [1]. Метод может быть реализован как во временной, так и в частотной области. Кроме того, отсутствуют ограничения по типу используемой сетки разбиения; наряду со структурированной сеткой в декартовой системе координат поддерживаются неортогональные сетки, например тетраэдральная. Таким образом, CST MWS – первый на настоящий момент пакет объемного электромагнитного моделирования, позволяющий выбирать для конкретной задачи оптимальный метод решения и способ разбиения.

На рис. 1 приведена исследуемая структура НВ (длина 12 см, радиус 0,5 см), который расположен в центре идеально проводящей пластины размерами 40×30 см.

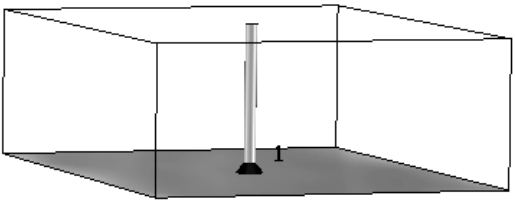


Рис. 1. НВ на идеально проводящей пластине

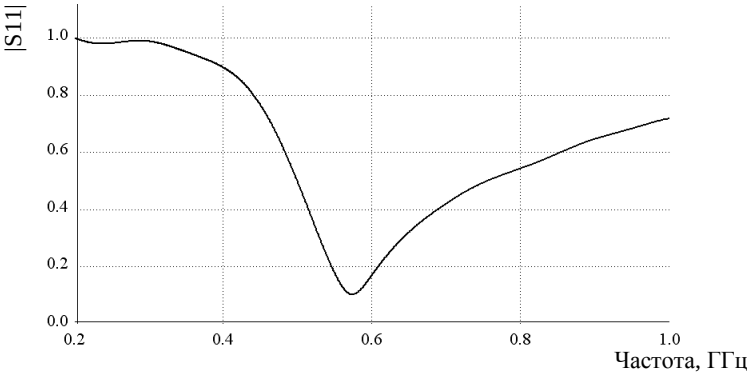


Рис. 2. Амплитуда коэффициента отражения НВ на идеально проводящей пластине

Целью моделирования являлось определение частотных зависимостей модуля входного импеданса и модуля коэффициента отражения НВ в диапазоне от 200 МГц до 1 ГГц. Результаты моделирования приведены на рис. 2. Количество ячеек разбиения составило 77376.

Далее было проведено моделирование металлического корпуса (480×400×300 мм) с двумя щелями (200×10 мм, расстояние от переднего края – 80 и 240 мм), который возбужден НВ (длиной 120 мм и радиусом 5 мм). Вид исследуемой геометрии приведен на рис. 3. Целью моделирования также являлось определение частотной зависимости модуля коэффициента отражения НВ, в диапазоне от 200 МГц до 1 ГГц. Количество ячеек разбиения составило 343824.

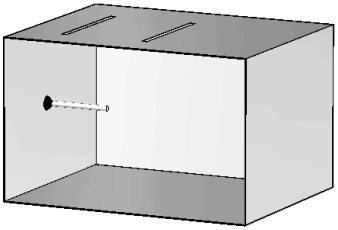


Рис. 3. НВ в металлическом корпусе с двумя щелями

Результаты моделирования металлического корпуса со щелями представлены на рис. 4.

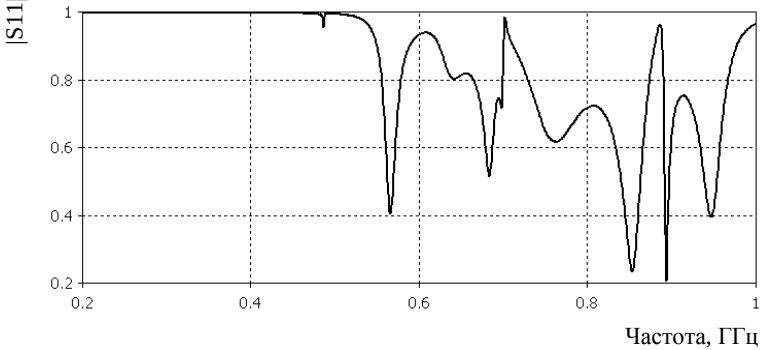


Рис. 4. Амплитуда коэффициента отражения в CST MWS

В данной работе было осуществлено компьютерное моделирование тестовых конфигураций в системе CST MWS. Были получены частотные зависимости модуля коэффициента отражения НВ для данных структур. В дальнейшем предполагается провести сравнение полученных результатов с результатами, полученными в других системах, и путем экспериментального моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. CST Microwave Studio – система моделирования СВЧ-устройств // http://www.rodnik.ru/old/htmls/f_1_16_1.htm?phrase_id=15920

2. Метод конечных разностей во временной области (КРВО) // http://bigbuben.narod.ru/fdtd.html

СЕКЦИЯ 4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИОМЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ

*Председатель – **Еханин С.Г.**, д.ф.-м.н., профессор КУДР.*

ЭЛЕМЕНТЫ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКИ

П.В. Бомбизов, С.Х. Васильев, А.Г. Егоров, А.Л. Шипицын,
студенты 3-го курса, каф. КУДР
г. Томск, ТУСУР, т. 8-923-404-08-75, wind1671@sibmail.com

Солнце – практически неисчерпаемый источник энергии, обеспечивающий существование жизни на Земле. Интенсивность излучения Солнца примерно постоянна на протяжении всего времени наблюдений и на уровне моря составляет около 1 кВт/м^2 [1]. Актуально прямое преобразование энергии Солнца в электрическую энергию (гелиоэнергетика). Для такого преобразования характерны: экологическая чистота, надежность и долговечность оборудования, безопасность, отсутствие традиционных коммуникаций, простота монтажа и демонтажа, модульный принцип наращивания мощности, стойкость к природным факторам. Особенно привлекательно применение гелиоэнергетики в Центральной Азии, где в среднем 300 солнечных дней в году [2].

Типичная гелиоэнергетическая установка включает: солнечный модуль, аккумуляторную батарею (АБ), контроллер заряда – разряда аккумуляторов, инвертор.

Рис. 1. Структурная схема гелиоэнергетической установки

От солнечных модулей через контроллер энергия поступает на заряд АБ и через инвертор – к потребителям. В случае роста энергопотребления инвертор забирает недостающую мощность из накопленной энергии в АБ, покрывая пики нагрузки. В темное время суток электро-

снабжение происходит за счет накопленного в АБ заряда. При недостатке энергии в АБ инвертор запускает резервный генератор. После восстановления уровня заряда генератор отключается.

Солнечные модули изготавливают из монокристаллического, поликристаллического или аморфного кремния, а также из арсенида галлия. На обратную сторону пластин (элементов) наносят полиэфирную пленку или специальный герметик – для защиты от окисления контактов и влаги. Количество пластин зависит от принятой конструкции модуля и подбирается так, чтобы ток и напряжение соответствовали условиям зарядки аккумуляторов [2]. Соединяют элементы плоскими проводами на стекле или прозрачном пластике.

Зарядные и разрядные характеристики АБ определяют время стандартного или быстрого заряда и допустимые при этом напряжения и токи. При стандартном времени заряда емкость аккумулятора больше, чем при быстром, что позволяет обеспечить большие разрядные токи и время работы. При импульсной (повторно-кратковременной) нагрузке, когда время работы заметно меньше следующей за ним паузы, величина разрядного тока может быть в несколько раз больше, чем при обычном разряде [3].

Учитывая эти обстоятельства, многие фирмы (Candica, GP, Panasonic и др.) выпускают отдельные группы АБ с одним профилирующим параметром: с повышенной емкостью, с малым разрядным током, быстрозарядные, нормально работающие при повышенной или пониженной температуре, с увеличенным сроком службы и т.д., что позволяет выбирать тип аккумулятора для частных, но важных для пользователя условий работы [4].

Контроллер заряда обеспечивает оптимальный режим заряда АБ, не допускает перезаряда, в конце заряда обеспечивает импульсный режим (при широтно-импульсной модуляции), позволяющий довести заряд кислотного аккумулятора почти до 100%, после чего отключает подачу энергии на аккумуляторы [6]. После понижения напряжения на клеммах вследствие разряда при работе гелиоэнергетической установки подача энергии от солнечного модуля возобновляется. Контроллер заряда может быть встроенным в инвертор [7, 8].

Контроллер разряда предохраняет аккумуляторы от вредного глубокого разряда, при понижении напряжения ниже допустимого отключает нагрузку, после подзаряда аккумуляторов вновь подключает нагрузку [9].

Существуют несколько типов контроллеров заряда: простейшие, стабилизаторы, корректоры, контроллеры с алгоритмом слежения за точкой максимальной мощности солнечных модулей [10]. Наиболее

перспективными являются контроллеры, использующие технологию отслеживания точки максимальной мощности источника энергии [11].

Основная функция инвертора – преобразование постоянного тока в переменный с заданными параметрами. Он может обеспечить и получение переменного тока с варьируемыми параметрами (например, частотой), а также стабилизацию этих параметров [12].

Различают автономные и сетевые инверторы. В сетевых инверторах система контроля и коммутации должна быть более совершенной, поскольку в качестве генератора частоты используется промышленная сеть, и работа инвертора синхронизируется с этой сетью [13].

К 2020 г. Швеция планирует полностью отказаться от углеводородного топлива. В Германии уже несколько лет действует государственная программа «Сто тысяч солнечных крыш». В США действует аналогичная программа «Миллион солнечных крыш». За год в России изготавливается примерно 5–6 МВт солнечных модулей, а продается на внутреннем рынке не более 150 кВт [1, 2]. Можно ожидать, что в ближайшие годы и в России существенно возрастет внимание к гелиоэнергетике.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://plasko.boom.ru/info.html
2. http://cxem.net/house/1-47.php
3. http://www.invertor.ru/opisanie.htm
4. http://www.navgeocom.ru/support/accum_recon/index.htm
5. http://n-t.ru/ii/ba/ch2.pdf-ch2
6. http://www.soltech.ru/stationary/controllers.php
7. Варламов В. И. Источники питания. – М: Радио и связь, 2002. – 510 с.
8. http://kazus.ru/lenta/view/0_5455_0.html
9. http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/06_09/stat_116.htm
10. ftp://ftp.elin.ru/pdf/PV/test_MX60.pdf
11. http://www.2000w.ru/
12. http://www.mashportal.ru/solutions_business_support-2154.aspx
13. Коновалов М.Н. Основы преобразовательной техники. М.: НПО «Алгон», 2000. 332 с.

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ АНАЛОГ ПОЛИТРОНА

А.А. Томашевич, А.В. Дениско, студенты 3-го курса,
С.Г. Еханин, науч. рук. д.ф.-м.н., проф. каф. КУДР
ТУСУР, г. Томск, stalker@main.tusur.ru

Политрон – электроннолучевой прибор, обладающий свойствами самоорганизующейся системы [1]. Основные направления практического использования политрона: распознавание образов с высокой

достоверностью, скоростью и минимальными энергетическими затратами; раннее прогнозирование погоды, стихийных бедствий и катастроф; раннее прогнозирование различных заболеваний; оптимальное управление техническими и биологическими системами; связь на ближних и дальних расстояниях с предельно высокой помехозащищенностью и минимальными энергетическими затратами; получение достоверной информации из труднодоступных мест; прогнозирование в геологоразведке и др.

В действующих установках политронные системы демонстрировались на престижных выставках. Описание их работы нашло свое отражение во многих докладах, публикациях, авторских свидетельствах на изобретения. Политрон вошел в список наиболее перспективных вакуумных приборов конца XX в., освоенных отечественной промышленностью, которые отмечены Государственной премией [1].

Принцип действия и возможность модернизации. В политроне [1] с помощью электронной пушки *1* (рис. 1) образуется размытый пучок электронов, подобный пучку света, создаваемый кинопроектором.

Из рисунка видно, что электронный пучок *2* попадает в область замкнутого пространства, ограниченного системой горизонтально и вертикально отклоняющих электродов (*X*, *Y*, *3*, *4*, *5*, *6*).

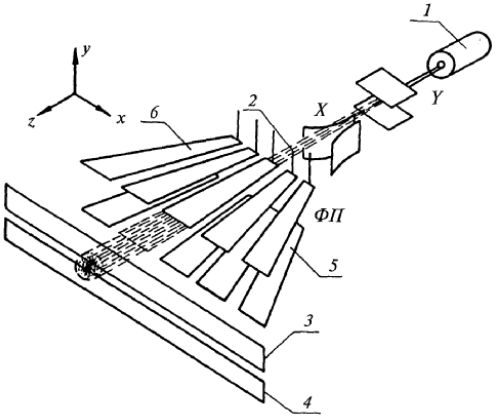


Рис. 1. Конструкция политрона

С их помощью весь пучок можно смещать в горизонтальном и вертикальном направлении. Далее пучок электронов попадает на мишень-детектор, состоящую из двух гальванически изолированных металлических пластин *3*, *4*, находящихся в одной плоскости, которые электрически связаны с первичным источником электронов – катодом, входящим в состав электронной пушки *1*.

В результате образуется электрически замкнутая система с пространственно распределенными электродами. Она обладает непрерыв-

ностью как по временной, так и пространственным координатам, т.е. обладает свойством континуума.

В политроне удалось получить интерференционные явления на медленных электронах, заданные характером граничных условий. Процесс интерференции удается зарегистрировать в виде непрерывно изменяющейся величины тока на выходе политрона, поддающегося непосредственному измерению. Насколько известно [1], подобный результат другими методами пока получить не удавалось.

Возможность непосредственной регистрации квантовых явлений, возникающих вследствие интерференции, приводит к возможности регистрации любых явлений как контактным, так и бесконтактным методом, что придает политрону уникальные качества.

Однако в настоящее время массогабаритные показатели политрона, а также его исполнение в виде вакуумного электронно-лучевого прибора, плохо согласуются с тенденциями развития электроники (микроэлектроника, наноэлектроника). Поэтому разработка твердотельного аналога политрона является весьма актуальной задачей.

На наш взгляд, возможен вариант создания аналогичного устройства на основе геликонных плазменных структур в полупроводнике [2]. Геликон – это плоская волна с круговой поляризацией в твердотельной плазме, распространяющаяся вдоль постоянного магнитного поля (рис. 2, *а*). Во всех других направлениях электромагнитные волны в плотной плазме быстро затухают. Поэтому направлением, в котором распространяется геликонная волна, можно управлять, изменяя ориентацию магнитного поля (см. рис. 2. *б*, *в*).

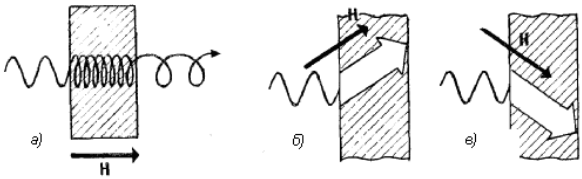


Рис. 2. Распространение геликонной волны в твердотельной плазме

Плазма состоит из заряженных частиц, которые движутся под действием электромагнитных полей. Эти поля создаются как самими частицами плазмы, так и внешними источниками. В постоянном магнитном поле на частицы плазмы действует сила Лоренца, которая перпендикулярна направлениям поля и скорости частицы и пропорциональна величине их произведения. Сила Лоренца заставляет частицы вращаться с частотой, пропорциональной магнитному полю (циклотронной) по так называемым ларморовским кружкам или спиралям.

Таким образом, используя данный эффект, можно создать аналогичное политрону устройство в твердотельном варианте. То есть вместо вакуумной электронно-лучевой трубки можно использовать полупроводник, а вместо пучка электронов – геликонные плазменные образования в этом полупроводнике. Пространственное расположение электродов при этом можно сделать таким же, как и в политроне. Вследствие этого мы планируем получить устройство, не уступающее по своим функциям политрону, но превосходящее его по многим показателям, таким как меньшая масса и габариты, возможность совмещения его с современной элементной базой и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ставицкий А.И., Никитин А.Н. На одном языке с природой / РАЕН, Ассоциация «Космонавтика – человечеству». СПб.: Интан, 1997. 137 с.

2. Лауринавичус А.К., Малакаускас П.З., Пожела Ю.К. Геликонный пучок в полупроводниковой плазме // Физика и техника полупроводников. 1984. Т. 18, № 6. С. 1056.

ЭЛЕМЕНТЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

А.Г. Егоров, студент 3-го курса, каф. КУДР

г. Томск, ТУСУР, т. 8-923-407-85-78, exclim@sibmail.com

До настоящего времени большая часть полупроводниковых приборов и интегральных схем (ИС) изготавливается на кремнии, что объясняется несколькими причинами: замечательными изолирующими свойствами природного диоксида кремния, возможностью получения очень чистого материала, простотой процесса легирования кремния [1].

Вместе с тем большая часть научных и технических публикаций в области полупроводников и полупроводниковых приборов посвящена исследованию соединений A_3B_5, среди которых важное место принадлежит арсениду галлия. Обладая большей шириной запрещенной зоны, этот материал способен обеспечить работу ИС при более высоких температурах, чем кремний, ввиду высокой подвижности электронов (в 5–10 раз выше, чем в кремнии), он позволяет изготавливать ИС с более высоким быстродействием [2]. Кроме того, полуизолирующий (компенсированный) арсенид галлия характеризуется весьма низкой электропроводностью (10^{-7}–10^{-8} См/см), благодаря чему подложки, выполненные из этого материала, сочетают в себе достоинства полупроводниковых и диэлектрических подложек.

Одной из областей, в которые интенсивно проникает арсенидгаллиевая технология, является электроника СВЧ-диапазона, охватывающая спектр электромагнитных колебаний в пределах от единиц до сотен гигагерц. Это направление по темпам развития, широте охвата и разнообразию приложения технологических методов резко выделяется среди других направлений, а по возможностям практического использования сравнимо только с теми из них, которые связаны с разработкой ИС для ЭВМ.

Наиболее широкое практическое использование в ИС на арсениде галлия получили полевые транзисторы на основе барьера Шотки (ПТШ). Одной из наиболее важных областей применения ПТШ на GaAs является их использование в качестве элементов малошумящих усилителей малой мощности. Высокочастотные малошумящие арсенидгаллиевые ПТШ используются в фазированных антенных решетках, процессорах, электронных системах обнаружения космических объектов и слежения, а также в цифровых приемопередатчиках. В частности, малошумящие усилители на GaAs применяются в аппаратуре связи, предназначенной для вещания в полосе частот 3,7–4,2 ГГц и для непосредственного телевизионного вещания со спутников (НТВ) на частоте 12 ГГц. Создание активных фазированных решеток привело к внедрению микроволновых и миллиметровых каналов в спутниковые системы глобального позиционирования, а также низкоорбитные спутниковые системы типов «Иридиум» и «Глобстар».

Канал *n*-канального полевого транзистора с затвором Шотки может быть сформирован методом ионной имплантации доноров в полуизолирующую подложку, что автоматически обеспечивает взаимную изоляцию транзисторов в ИС. Такой метод требует использования высококачественных подложек с малой поверхностной плотностью дефектов и высокой подвижностью электронов. Более высокое качество активного слоя достигается при использовании методов молекулярно-лучевой эпитаксии и пиролиза металлоорганических соединений [1–3].

Некоторое повышение предельной частоты достигается использованием δ-легированного канала, представляющего собой тонкий, сильно легированный слой n^+-GaAs, расположенный между нелегированным активным слоем и подложкой. В такой структуре электроны в канале группируются вокруг тонкого δ-легированного слоя n^+-GaAs, что приводит к повышению их подвижности.

Пороговое напряжение полевого транзистора с затвором Шотки зависит от толщины, степени легирования канала, расстояния от затвора до канала и может составлять от –4 до +0,2 В. Роль подзатворного диэлектрика выполняет обедненная электронами область пространственного заряда (ОПЗ) под барьером Шотки.

Эффективной мерой повышения качества полевых транзисторов является введение между активным слоем канала и подложкой широкозонного буферного гетерослоя AlGaAs. Этот слой создает потенциальный барьер, препятствующий инжекции электронов из канала в полуизолирующую подложку. Введение буферного слоя снижает выходную проводимость и, следовательно, увеличивает коэффициент усиления по напряжению [1]. Транзисторы с таким буферным слоем называют гетероструктурным полевым транзистором с высокой подвижностью электронов (HEMT – High Electron Mobility Transistor).

Электроны движутся от истока к стоку в тонком двумерном инверсионном слое, формируемом на границе между широкозонным AlGaAs и узкозонным нелегированным GaAs. Если толщина широкозонного слоя достаточно мала, то области обеднения вблизи гетероперехода и контакта Шотки перекрываются и все доноры широкозонного слоя оказываются ионизованными. В результате он играет роль диэлектрика, гетероструктура становится аналогом МДП-структуры и концентрация двумерных электронов линейно зависит от напряжения на затворе (контакте Шотки).

Пороговое напряжение определяется толщиной и степенью легирования гетерослоя AlGaAs. Модуляция проводимости канала осуществляется за счет изменения поверхностной плотности состояний.

Тонкий слой нелегированного AlGaAs отделяет 2D-электроны в GaAs от доноров в легированном слое AlGaAs под затвором. Существенное уменьшение примесного рассеяния приводит к увеличению низкополевой подвижности, особенно при низкой температуре, что, в свою очередь, уменьшает сопротивление канала между истоком и затвором, а также увеличивает крутизну транзистора.

В последние годы характеристики HEMT были значительно улучшены за счет использования новых полупроводниковых соединений A_3B_5. Весьма перспективными оказались соединения InGaAs, InGaP, InAlAs и InP. Введение индия в GaAs существенно повышает подвижность электронов и сужает ширину запрещенной зоны. Кроме того, структура $In_{0,53}Ga_{0,47}As/GaAs$ имеет вдвое больший разрыв зоны проводимости, чем $Al_{0,3}Ga_{0,7}As/GaAs$, что позволяет устранить появление паразитного канала в транзисторах с такой структурой, называемых псевдоморфными HEMT (p-HEMT) [1, 4].

Дальнейшее развитие активных элементов ИС на арсениде галлия может быть связано с использованием квантовых размерных эффектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. М.: Техносфера, 2005. 448 с.

2. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. М.: Мир, 1991. 632 с.

3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2 кн. М.: Мир, 1984. 912 с.

4. Развитие новых сигнальных транзисторов с высокой подвижностью электронов. Novel mHEMTs signal transistor evolution / Hwang T. // Microwaves and RF. 2002. Vol. 41, № 8. С. 57–58, 60, 62, 65–66.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.М. Карабан, аспирант каф. КИПР

г. Томск, ТУСУР, т. 8-913-872-45-21, karaban_vm@mail.ru

Закономерности, описывающие деформирование и разрушение конструкционного материала радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) специального назначения, основанной на принципах микротермостатирования, в сочетании с информацией о температурном состоянии элементов конструкций позволяет подойти к решению важного для инженерной практики вопроса об оценке их работоспособности при заданных условиях теплового воздействия. В общем случае решение этого вопроса связано с определением параметров напряженно-деформированного состояния рассматриваемого элемента конструкции при упругом или неупругом поведении материала. Это обычно приводит к необходимости формулировать и решать соответствующую задачу термоупругости, термопластичности или же термоползучести. Сложность решения этих задач обусловлена тем, что процессы неизотермического деформирования материала существенно зависят от последовательности этапов нагружения [1. С. 94–183].

Таким образом, возникает необходимость учета изменения во времени (в процессе нагружения) как механических и термических нагрузок, так и сопротивления материала, так как обычно ни те, ни другие величины не остаются даже приблизительно постоянными. При быстрых изменениях нагрузок и сопротивлений необходимо применять отслеживание этих величин во времени. Все эти обстоятельства заставляют вместо квазистатического переходить к кинетическому рассмотрению с учетом скоростей и ускорений деформации и разрушения, что также обусловлено [1. С. 3–29]:

1) все более широким применением повышенных температур;

2) повышенной средней напряженностью в условиях эксплуатации (следует отметить, что иногда даже этого фактора вполне доста-

точно для появления заметной зависимости прочности и деформации от времени даже при комнатных температурах);

3) наличием в условиях эксплуатации (даже при небольшой средней напряженности) отдельных перегрузок и вообще нестационарных режимов;

4) резкой неравномерностью и нестационарностью напряженного состояния в отдельных зонах изделий, обусловленными их сложной формой и все большим распространением составных конструкций, в которых сочетаются материалы, имеющие разные коэффициенты расширения и различную теплопередачу и теплопроводность, упругие и пластические свойства и т.п.;

5) все расширяющимся применением сложных по составу и структуре материалов, которые, являясь нестабильными в физико-химическом отношении, претерпевают под нагрузкой структурные изменения во времени, особенно в поверхностных зонах, наиболее подверженных внешним воздействиям.

Следует подчеркнуть, что напряженное и деформированное состояния обычно можно изучить с большей точностью, чем оценить опасность этих состояний. Иными словами, из двух основных этапов оценки прочности – а) установления напряженного и деформированного состояния, а также соответствующих температурных полей и б) оценки опасности, т.е. собственно расчета на прочность, – второй этап менее изучен, чем первый. Некоторые результаты расчетов на ползучесть приведены в статье Б.Ф. Шора [1. С. 183–241], на термическую усталость – в статье Н.Д. Соболева и В.И. Егорова [1. С. 94–183], на термическую устойчивость – в статье Л.А. Шаповалова [1. С. 241–255]. Еще один ряд работ [2–5] посвящен исследованиям связанных тепловых и механических процессов в РЭА.

В работе [2] предложена физическая модель разрушения многослойной контактной системы полупроводникового прибора при циклическом температурном воздействии. Отмечено, что процесс дефектообразования локализуется либо в слое пластичного металла, либо в приповерхностном слое полупроводника, определяя форму кривой, характер и момент наступления отказа системы при термоциклировании. В [3] выведены уравнения теплопроводности и термоупругости для рабочих элементов металлокерамических корпусов (МКК), содержащих секторные и клинообразные включения. В [4] отмечено, что возникновение значительных температурных градиентов в рабочих узлах металлокерамических корпусов ИМС в процессе твердой пайки выводов к ним приводит к появлению температурных напряжений, которые вызывают дефекты в керамике типа микротрещин, расслоений, разрывов внутренних проводников. В работе [5] рассчитаны тер-

мические и механические нагрузки анодной сетки СВЧ-генератора с виртуальным катодом в импульсно-непрерывном режиме работы. По результатам сделан вывод, что в рассматриваемом режиме работы анодная сетка может испытывать значительные механические нагрузки, а это исключает возможность дальнейшего увеличения частоты следования импульсов и требует принятия специальных мер для увеличения прочности анодной сетки.

Сложность решения этих задач приводит к необходимости детально прослеживать влияние всех этапов термического и механического воздействий на конструкцию, так что практические возможности решения таких задач тесно связаны с использованием современных численных методов и алгоритмов, реализуемых на ЭВМ с достаточно высоким быстродействием и значительным объемом памяти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прочность и деформация в неравномерных температурных полях // Сб. науч. работ / Под ред. Я.Б. Фридмана. М.: Гос. атом. издат., 1962. 255 с.

2. Береза Л.В., Долгов А.А., Дорошенко В.Г. и др. Модель отказа контактной системы полупроводникового прибора при циклическом температурном воздействии // Инженерно-физический журнал. 1983. Т. XLIV, № 2. С. 298–304.

3. Веремейчук Н.С., Гладыш Р.В., Волос В.А. и др. Уравнения теплопроводности и термоупругости для рабочих элементов металлокерамических корпусов (МКК), содержащих секторные и клинообразные включения // Инженерно-физический журнал. 1993. Т. 64, № 2. С. 233–244.

4. Гладыш Р.В., Волос В.А., Канский И.Е. Аналитическое решение задачи теплопроводности для прямоугольных подложек, используемых в производстве металлокерамических корпусов (МКК) // Инженерно-физический журнал. 1990. Т. 59, № 6. С. 1037–1039.

5. Дубинов А.Е., Селемир В.Д., Сидорова В.А. и др. Термические и механические нагрузки анодной сетки СВЧ генератора с виртуальным катодом в импульсно-непрерывном режиме работы // Инженерно-физический журнал. 1998. Т. 71, № 5. С. 899–902.

УСТРОЙСТВО ПОИСКА ГЕОПАТОГЕННЫХ ЗОН

С.А. Зорин, Е.В. Николаева, Е.С. Новикова, А.П. Санников, К.К. Шульженко, студенты 3-го курса РКФ,
С.Г. Еханин, науч. рук., д.ф.-м.н., проф. каф. КУДР
г. Томск, ТУСУР, stalker@main.tusur.ru

Геопатогенные зоны – это ограниченные участки земной поверхности, в которых наблюдаются аномалии суточной динамики геоэлектрических и геомагнитных полей, которые действуют разрушающе на любые биологические объекты, в том числе и на организм человека [1].

Различают геопатогенные зоны:

а) естественные (месторождения различных руд, тектонические зоны, подземные водоносные жилы, разломы, пустоты и пр.);

б) искусственные (шахты, метро, водопроводы, свалки, канализации и пр.).

Существуют различные методы для обнаружения геопатогенных зон. Самый распространенный из них – метод лозоходства. Но этот метод является субъективным, так как результаты исследования зависят от мастерства и искусства оператора. Более точными методами могли бы быть аппаратные исследования геопатогенных зон. Но для применения таких методов необходимо новое определение сущности геопатогенной зоны.

Можно считать, что геопатогенная зона является по своей природе геофизической аномалией [2]. Аномалия – это не так, как везде (отличие). Наличие аномалии подразумевает какую-то переходную границу, которая по сути своей, прежде всего, неоднородность. Граница геологической аномалии – это неоднородность залегающих под землей пород. Аналогичные рассуждения можно провести относительно геофизической аномалии, только речь здесь может идти относительно величин и градиентов электрических, магнитных, гравитационных полей и т.д. Часто эти аномалии сопровождают друг друга. В качестве экологических аномалий (геопатогенных зон) могут проявлять себя границы как геологических, так и геофизических аномалий, так как вблизи их границ наблюдается наибольший градиент изменения плотности залегающих под землей пород, а также градиент изменения электрических, магнитных и гравитационных полей. Сильные изменения этих полей оказывают на биологические объекты вредоносное воздействие. С этой точки зрения поиск геопатогенных зон может осуществляться методами геофизической разведки.

К основным методам разведочной геофизики относят магнито-, грави-, электро-, сейсморазведку, а также радиометрию и ядерную геофизику. Каждый из существующих методов разведочной геофизики является весьма информативным, а применение этих методов в комплексе позволяет получить полную характеристику исследуемой геофизической аномалии. Но эти методы требуют использования дорогостоящего сложного специализированного оборудования.

Предложенный СКБ «Сталкер» метод [2] позволяет производить поиск геопатогенных зон без использования сложного оборудования, дополнительных средств создания изучаемого поля. С помощью этого метода можно определить гравитационный рельеф местности, а значит, и переходные границы между залегающими под землей породами. В основу метода, который реализуется в работе прибора, положено

определение интенсивности потоков вторичных γ-квантов на поверхности Земли [3]. Предположим, что над прибором, расположенным на поверхности Земли, находится столб атмосферы определенной высоты. Высота столба зависит от силы гравитации Земли в данном месте. Космические лучи, пронизывая атмосферу над нашим прибором, рождают ливень вторичных частиц. Наиболее проникающие из них γ-кванты доходят до поверхности Земли и регистрируются нашим прибором. Если перенести прибор в другое место с более плотной породой (места выхода скальных пород), то очевидно, что результирующая величина силы гравитации увеличится. Изменение силы гравитации будет зависеть от объема и плотности подземных пород. Изменение величины силы гравитации приведет к изменению эффективной высоты атмосферы. Таким образом, интенсивность потоков вторичных атмосферных γ-квантов будет пропорциональна толщине атмосферы, а значит, в конечном итоге – плотности залегающих под землей пород. На этом принципе и основывается предлагаемый метод определения геофизических и геологических аномалий, а значит, и геопатогенных зон.

Основой прибора являются датчики γ-квантов. В качестве датчиков применены газоразрядные счетчики Гейгера–Мюллера типа СБМ-20. Для защиты датчиков от γ-квантов, идущих от земли, применяется цилиндрический экран. Толщина экрана выбрана такой, что γ-кванты с энергией менее 1–2 МэВ к датчику не проходили. Именно такую энергию и менее имеют γ-кванты, образующиеся в почве и воздухе при распаде большинства радиоактивных веществ. Энергия атмосферных γ-квантов много больше (> 100 МэВ). Датчик радиоактивного излучения регистрирует эти кванты. Датчик представляет собой газоразрядный счетчик Гейгера–Мюллера. Такой датчик требует высокого напряжения (около 400 В), которое формируется преобразователем, выполненным на однотранзисторном блокинг-генераторе с выпрямителем-удвоителем напряжения. Попадание в датчик даже одного γ-кванта вызывает в нем электрический пробой, а значит, всплеск тока. Такой датчик обладает очень большой чувствительностью и не требует усилителя. Однако всплеск тока очень короткий (длительность менее 1 мкс) и для уверенной регистрации требует преобразования. Формирователь импульсов (ждущий мультивибратор) преобразует импульс датчика в единичный прямоугольный импульс.

Основным узлом приема и обработки данных является микрокомпьютер (КПК). КПК регистрирует количество частиц, попадающих в датчик за единицу времени. Программа КПК формирует из этих результатов массив, который в дальнейшем обрабатывается. Обработка заключается в выборке результатов и формировании гистограммы. Программное обеспечение КПК формирует на экране гистограмму

распределения и другие статистические параметры, полученные при обработке данных.

Метод поиска геопатогенных зон с помощью анализа параметров потока атмосферных гамма-квантов приемлем и перспективен, но является недостаточно точным, так как не учитывается степень влияния солнечной активности и фонового излучения. Методами математической статистики можно выделить полезный сигнал более точно. Определение для каждого измерения среднеквадратической ошибки дает выигрыш в чувствительности в несколько раз. В дальнейшем планируется аппаратное выделение полезного сигнала (исключение фонового и вариации солнечной активности), а также определение оптимального алгоритма статистической обработки результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт: www.geopatogen.ru.

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. Томск, 2001.

3. Гальпер А.М., Лейков Н.Г., Лучков Б.И. Гамма-излучение и волны плавучести в атмосфере // Природа. 1981. № 6. С. 14–21.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ЦИНКА С ЭЛЕКТРОДА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОРА ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА

П.М. Пинкольский, аспирант каф. КУДР

г. Томск, ТУСУР, trumper@sibmail.com

Значение цинка для нашего организма очень велико. Он задействован в ряде очень важных процессов нашего организма, например в репродуктивной функции, а также является составной частью множества важных гормонов.

Можно считать установленным фактом то, что дефицит цинка при атеросклерозе является специфическим нарушением, так как по данным экспериментальных и клинических исследований восполнение дефицита цинка оказывает нормализующее влияние на показатели липидного обмена и сопровождается выраженным терапевтическим эффектом.

Пониженное содержание цинка также явно прослеживается и при гипофункции инсулинового аппарата. Нарушение обмена цинка в

поджелудочной железе при гипофункции ее инсулярного аппарата имеет прямое отношение к патохимической сущности атрофии бета-белка.

Автономные электростимуляторы желудочно-кишечного тракта (АЭС ЖКТ) разработаны в 1985 г. для восстановления моторики кишечника при послеоперационных парезах [1]. В дальнейшем электростимуляторы начали использовать для эндоэлектрофореза таких микроэлементов, как цинк, с целью введения его в организм человека в ионизированном и строго дозированном виде. Это было вызвано тем, что, как подтверждают последние исследования, усвояемость микроэлементов в организме составляет менее 1/10 от поступившего при использовании таблетированных средств.

Для оценки количества микроэлемента, выделенного на аноде, необходимо определить скорость электрохимического растворения цинка.

Методика эксперимента. Для моделирования электрохимических процессов, проходящих в среде ЖКТ пациента, целесообразно определить скорости растворения этих микроэлементов как в имитирующих, так и в реальных средах желудочно-кишечного тракта.

Катод выполнен из стали. На анод нанесена электрохимическим методом пленка исследуемого микроэлемента, в данном случае цинка.

Функционирование АЭС ЖКТ контролировалось с помощью цифрового осциллографа GDS-840C.

Исследовали скорости растворения микроэлементов Zn, Cu, Cr, Fe, нанесенных на электрод-анод электрохимическим осаждением. Толщина покрытия измерялась на микроскопах МИИ-4 или МИС-11. Вес покрытия колпачков не превышает суточной потребности организма в данном микроэлементе и контролировался на весах типа ВЛР. Время растворения контролировалось с помощью секундомера. Температура среды 25 °С.

Электрохимическое растворение цинка. При электрохимическом растворении цинка в растворе соляной кислоты замечено, что катод сразу же покрывается пузырьками, сначала мелкими, а затем крупными, диаметром приблизительно 1,5…2,0 мм; на аноде пузырьки появляются приблизительно через 10 мин после начала процесса. Заметное растворение цинка начинается через 30 мин. По мере растворения цинка количество пузырьков на катоде уменьшается, и после полного растворения его с анода на катоде идет выделение Zn, т.е. идет процесс переосаждения цинка из раствора на катод. Но так как режим осаждения цинка на катод в данных условиях не оптимален, следовательно, качество осажденного покрытия низкое.

За пять часов растворяется 9,1…9,75 мг цинка, т.е. скорость электрохимического растворения цинка составила 1,82…1,95 мг/ч.

Исследование растворения цинка в желудочном соке проводили только в режиме работы капсулы. Колпачок-анод после растворения цинка оставался блестящим всегда, независимо от pH желудочного сока и времени растворения. Катод не изменяется при растворении цинка в желудочном соке с pH от 2…3 до 4,4. При растворении цинка в желудочном соке с pH = 7 катод темнеет. Цвет желудочного сока изменяется от светлого до зеленого при $pH_{Ж.С}$ = 2…3 и не изменяется в других случаях.

Данные по растворению цинка в желудочном соке приведены в таблице.

Данные по растворению цинка в желудочном соке

pH желудочного сока	Время растворения, ч	Вес цинка на колпачке, мг	Скорость растворения, мг/ч	Изменение цвета желудочного сока	Изменение цвета катода
2…3	2	9,1	4,55	Зеленый	Нет
4,4	3	9,75	3,25	Нет	Нет
7,0	5,5	14,3	2,6	Нет	Темный

Суточная потребность цинка для человеческого организма составляет 10–15 мг, соответственно необходимое количество цинка с поверхности анода растворится за 3–5 ч.

Клинические испытания показывают [1, 2], что использование АЭС ЖКТ-Zn приводит к снижению сахара в крови и может использоваться как дополнительное средство к медикаментозному лечению сахарного диабета и предупреждению других заболеваний, таких как атеросклероз сосудов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонников В.Ф., Дамбаев Г.Ц., Мартусевич Г.И. Автономные электростимуляторы желудочно-кишечного тракта. 2-е изд. Томск: ТУСУР, 2005. 224 с.

2. Агафонников В.Ф., Налесник О.И., Романовский М.Н., Распределение плотности тока по поверхности электродов АЭС ЖКТ // Медицинская техника. 1996. № 5. С. 28–31.

УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СЧЕТЧИКА

А.С. Лозовецкий, И.А. Никифоров,
Ф.Г. Попов, студенты 3-го курса РКФ,
С.Г. Еханин, науч. рук., д.ф.-м.н., проф. каф. КУДР
г. Томск, ТУСУР, 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 – с другой, занимались многие замечательные исследователи, начиная с А.Л. Чижевского [1]. На громадном статистическом материале им была показана связь солнечной активности с биологическими, психическими и социальными процессами. В результате дальнейшей работы большого числа исследователей была предложена схема воздействия вариаций солнечной активности на биосферу Земли (рис. 1) [1].

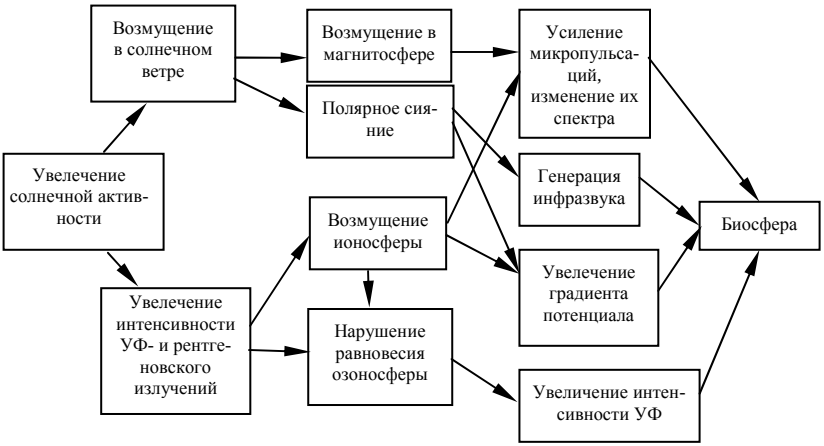


Рис. 1. Качественная модель воздействия вариаций солнечной активности на биосферу

Существуют различные методы регистрации солнечной активности, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. В данный метод положен анализ потоков атмосферного гамма-излучения, генетически связанного с солнечным ветром [2].

Интервал энергий исследуемых γ-квантов, как показано в [2], составляет от десятков до сотен МэВ. Такие γ-кванты образуются под

действием бомбардирующих атмосферу солнечных космических лучей как в результате распада нестабильных частиц, главным образом нейтральных пионов, рождающихся при столкновениях протонов и ядер космических лучей с ядрами атмосферного азота и кислорода, так и в результате тормозного излучения и комптоновского рассеяния, возникающего при взаимодействии космических электронов с атомами атмосферы. Вторичное атмосферное гамма-излучение составляет основную часть регистрируемых потоков γ-квантов на всех высотах вплоть до максимальной высоты 30–40 км.

Если же проследить поток γ-квантов на какой-нибудь одной высоте, то оказывается, что он не постоянен, а испытывает значительные вариации около среднего значения. Что представляют собой эти вариации? Часть из них имеет чисто статистическую природу и связана с конечностью темпа счета прибора. Но как оказалось, в основном вариации обусловлены влиянием активности Солнца. Поскольку атмосферные гамма-кванты обладают большой энергией порядка 100 МэВ, есть вероятность, что они могут достичь поверхности Земли. Действительно, как было показано ранее [3], удается на поверхности Земли регистрировать короткопериодические вариации потоков атмосферных гамма-квантов, генетически связанных с солнечным протонным ветром. Но в предыдущем устройстве в качестве датчика использовался газоразрядный счетчик Гейгера–Мюллера. Использование такого счетчика не позволяло аппаратно выделить полезный сигнал.

В данной работе предлагается в качестве счетчика гамма-квантов использовать сцинтилляционный датчик. Основным преимуществом данного счетчика, по сравнению с газоразрядным, является возможность разделения гамма-квантов по энергиям. Это свойство сцинтилляционного датчика особенно важно для выделения только гамма-квантов солнечного происхождения, так как они имеют энергию много большую, чем энергия радиоактивных изотопов естественного происхождения.

Действие сцинтилляционных счетчиков основано на том, что заряженная частица, пролетающая через вещество, вызывает не только ионизацию, но и возбуждение атомов. Возвращаясь в нормальное состояние, атомы испускают видимый свет. Вещества, в которых заряженные частицы возбуждают заметную световую вспышку (сцинтилляцию), называют фосфорами. Сцинтилляционный счетчик состоит из фосфора, от которого свет попадает на фотоумножитель (ФЭУ). Обычно в качестве фосфора используется кристалл йодистого натрия (NaI). В сцинтилляторе под действием электронов, создаваемых гамма-квантами, возникает кратковременная вспышка света – сцинтилляция,

преобразуемая в ФЭУ в электрический импульс. Амплитуда импульса пропорциональна энергии гамма-кванта.

Функциональная схема установки представлена на рис. 2.

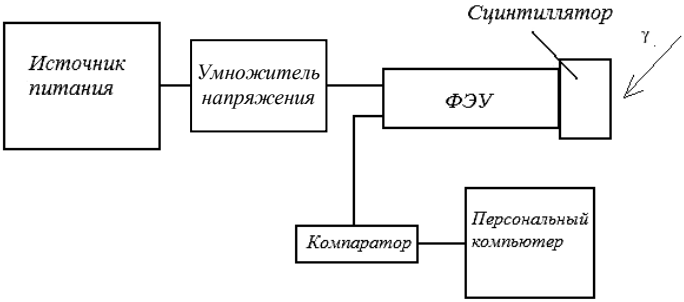


Рис. 2. Функциональная схема установки

Сигналы малой амплитуды соответствуют, как показано в эксперименте, гамма-квантам из окружающей среды (2–3 МэВ). Сигналы гораздо большей амплитуды соответствуют солнечным гамма-квантам (10–100 МэВ), их выделение и является задачей компаратора.

Компаратор настраивается таким образом, чтобы пропускать сигналы только большой амплитуды, несущие полезную информацию о вариации солнечной активности. Импульсы попадают на ПК через USB-порт.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Гальпер А.М., Ленков Н.Г., Лучков Б.И. Гамма-излучения и волны в атмосфере // Природа. 1981. № 6.

3. Чураков Ю.Н., Завершинская О.Е. Исследование короткопериодических вариаций солнечной активности // Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2005». Томск, 26–28 апреля 2005 г. Ч. 1. Томск: ТУСУР, 2005. С. 178–180.

УСТРОЙСТВО ПОИСКА ЛЮДЕЙ ПОД ЗАВАЛАМИ

С.М. Овчинникова, А.А. Соколов, студенты 4-го курса РКФ

г. Томск, ТУСУР, stalker@main.tusur.ru

Известные типы поисковых приборов по физическому принципу применяемых методов делятся на оптические, акустические, тепловизионные, радиолокационные, рентгеновские, приборы, использующие

химические анализаторы. Актуальной проблемой современности является разработка новых, более эффективных методов и приборов поиска пострадавших под завалами.

Разрабатываемый метод локации биологических объектов является принципиально новым для такого вида работ. Физический принцип разрабатываемого пассивного радиоизотопного биорадара основан на том, что организм человека обладает внутренним радиоактивным излучением, благодаря присутствию естественного радиоактивного изотопа калия. Проведенные в СКБ «Сталкер» предварительные исследования [1] показали перспективность предлагаемого метода.

Однако при выделении полезного сигнала мы сталкиваемся с определенными проблемами, связанными с тем, что, кроме гамма-излучения от объекта, датчик фиксирует излучения другого происхождения. Как известно, радиационный фон имеет как постоянную составляющую, так и переменную. Излучение радиоактивных веществ из стен и конструкционных материалов, земной поверхности, воздуха постоянно, т.е. интегральная интенсивность излучения от этих объектов не зависит от того, когда происходило измерение (сегодня, вчера, месяц назад). К переменной составляющей можно отнести космическое излучение.

Космическое излучение подразделяют на первичное и вторичное. Первичное солнечное космическое излучение обусловлено вспышками на Солнце. Многие из частиц этого излучения обладают достаточной энергией для того, чтобы вызвать ряд последующих ядерных взаимодействий с ядрами атомов азота и кислорода, присутствующих в атмосфере. В этих реакциях образуются различные продукты активации, в том числе и вторичное гамма-излучение [2].

Вторичное гамма-излучение образуется на высоте нескольких десятков километров, но, обладая высокой энергией (более 100 МэВ) достигает поверхности Земли. Это излучение не постоянно, оно меняется во времени и характеризует изменение активности Солнца.

Атмосферные гамма-излучения являются основной помехой при выделении полезного сигнала от биообъекта. Ранее в качестве защиты от этого вида излучений использовали свинцовый экран. Как показано нами в отчете по ГПО за прошлый семестр, в случае применения свинцового экрана, дающего коэффициент ослабления 10, масса датчика достигала 8 кг. Это для переносного устройства неприемлемо.

В данной работе предлагается вариант аппаратного вычитания сигнала, связанного с атмосферными гамма-квантами (рис. 1). Поток атмосферного гамма-излучения *3* проходит как сквозь защитный корпус *4*, так и сквозь защитную свинцовую перегородку *5*, а так же через верхний и нижний датчики *1*. Излучение от биообъекта фиксируется

лишь нижним датчиком, так как защитная свинцовая перегородка не позволяет проникать излучению на верхний датчик. Необходимая диаграмма направленности создается корпусом *4*, в котором отсутствует нижняя стенка.

Схемой выделения полезного сигнала из общего, состоящего из атмосферных гамма-квантов, а также излучения от почвы и биообъекта является схема совпадения с инвертирующим выходом. Атмосферные гамма-кванты, обладающие высокой энергией, воздействуют как на верхний, так и на нижний датчик, сигнал от которых поступает на оба входа логического элемента 2И-НЕ, а на выходе этого элемента сигнал, вследствие инверсии, будет отсутствовать. Таким образом, сигналы от атмосферных гамма-квантов восприниматься не будут. Излучение от биообъекта *6* воздействует только на нижний датчик, следовательно, на один вход схемы совпадения поступает сигнал, а на другой нет. Поэтому на выходе логического элемента появится сигнал. Дальнейшее выделение сигнала биообъекта от излучения почвы *2* производится аналитически с помощью специальной программы.

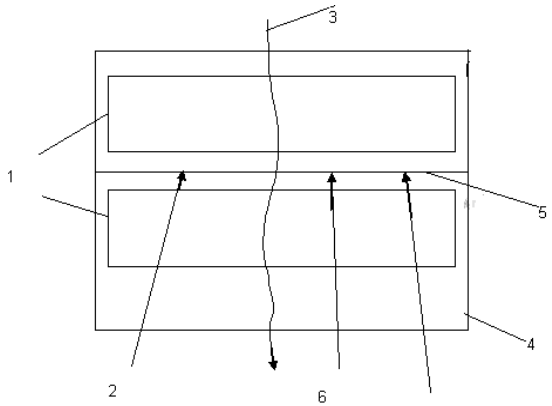


Рис. 1. Схема датчика экспериментальной установки

Описываемая портативная установка состоит из датчика и карманного ПК. Сигнал от датчика поступает на КПК, где происходит его обработка при помощи пакета программного обеспечения. Слабый полезный сигнал выделяется из фонового излучения и на основе полученных данных делается заключение о наличии или отсутствии биологического объекта в зоне действия датчика.

Данный метод позволяет уменьшить массу портативного устройства в несколько раз.

По сравнению с существующими сегодня на рынке устройствами разрабатываемый прибор обладает рядом преимуществ:

1. Отсутствует необходимость наличия у объекта разного рода маяков, как активных, так и пассивных, а следовательно, поиск может вестись в любой непредвиденной ситуации.

2. Малые габаритные размеры и масса прибора облегчают его использование в полевых условиях. Не требуется установка дополнительных антенн, как при сканировании радиолокационными приборами.

3. Отсутствует необходимость двустороннего доступа к исследуемой области, как при рентгеновском сканировании.

4. Отсутствует необходимость прямого доступа к биологическому объекту, как при оптическом поиске пострадавших.

5. Главным преимуществом является существенно большая глубина обнаружения биологических объектов вследствие использования гамма-излучения, обладающего большой проникающей способностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Молошников В.А., Ярымова И.А. Основы нового бесконтактного метода БОС // XIV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии»: Сб. Т. 1. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 538 с.

2. Гальпер А.М., Лейков Н.Г., Лучков Б.И. Гамма-излучение и волны плавучести в атмосфере // Природа. 1981. № 6. С. 14–21.

СЕКЦИЯ 5

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Председатель – **Лощилов А.Г.**, м.н.с. каф. ТОР, к.т.н.;*
*зам. председателя – **Бомбизов А.А.**, инженер НИИ ЭТОСС*

ОБЗОР МЕТОДОВ АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Т.Х. Бибиков, студент 5-го курса, КСУП,
А.Г. Лощилов, м.н.с. НИИ ЭТОСС,
А.А. Беспалько, к.ф.-м.н., зам. директора по научной работе*
г. Томск, ТУСУР, Bibikov.Timur@gmail.com
**г. Томск, Электротехнический институт*
Томский политехнический университет

Развитие горнодобывающего производства в нашей стране происходит за счет углубления действующих шахт и освоения новых глубоко залегающих месторождений. Увеличение глубины выработки приводит к возрастанию давления в массиве горных пород, что, в свою очередь, ведет к возникновению проявлений горных ударов [1].

Горные удары, как явления, известны более двух столетий. К наиболее удароопасным районам мира в настоящее время относятся угольные и рудные месторождения Польши, ФРГ, Индии, ЮАР, США, Канады. В России среди рудных месторождений удароопасными являются Ловозерское месторождение [2], Североуральское бокситовое [3], железорудные месторождения Горной Шории и Хакасии, рудники Талнахского района, Кольского полуострова.

Сегодня очевидна недостаточность имеющихся разработок по исследованию, диагностике и контролю состояния массивов горных пород. Решающим условием снижения себестоимости добычи полезных ископаемых и повышения безопасности работ является своевременный контроль устойчивости шахтных сооружений, свойств и напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Вопросам развития диагностики напряженно-деформированного состояния горных пород большое внимание уделяют в США, Великобритании, Германии, Японии, России и Украине. За период многолет-

них исследований, выполненных в Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ВНИМИ, Институте горного дела СО РАН, Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН, Томском политехническом университете, Горном институте Кольского научного центра РАН и других научно-исследовательских институтах горного профиля, получены обширные знания о свойствах горных пород, их поведении в областях напряжений до предела прочности и за ним, разработаны методики и средства для контроля состояния массива горных пород. Однако существующие методы контроля состояния породного массива больше констатируют, чем прогнозируют возможное развитие поведения массива. Для диагностики и прогноза состояния массива и возможных последствий его воздействия на подземные сооружения необходимо знать закономерности, по которым протекают деформационные процессы в породном массиве, владеть методикой контроля этих процессов, а также методологией управления ими.

Обзор

1. Визуальное обследование

Наиболее простой формой визуального обследования [4] является осмотр с ведением записей в случае наличия нарушений. Применяется, в основном, для объектов большой длины с периодической структурой, причем структурные единицы имеют номер, позволяющий однозначно фиксировать их положение. Характер записей состоит из трех частей:

- указание номера структурной единицы;
- уточнение положения аномалии в пределах структурной единицы;
- характер обнаруженной аномалии в сжатой описательной или формализованной форме.

Достоинства метода

Возможность применения практически в любом шахтном сооружении. Для описания состояния сооружения используются все накопленные сведения об объекте исследования и опыт эксперта. Относительно низкая стоимость, зависящая от размера объекта и стоимости услуг эксперта.

Недостатки метода

Неточность описания состояния сооружения по причине невозможности определения всех аномалий, используя лишь визуальный осмотр. Не обеспечивает заблаговременного прогнозирования опасных проявлений горного давления, так как не способен обнаружить ранние предвестники разрушений.

2. Оценка параметров электромагнитной эмиссии

Изменения механических свойств горных пород в результате действия механических напряжений приводит к возникновению или акти-

визации источников электромагнитных сигналов. 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 [5].

Частотный диапазон, на котором обнаруживают электромагнитную эмиссию при разрушении горных пород, лежит в пределах от 1 кГц до 10 МГц [6]. Исследователи Хансон (*D.R. Hanson*) и Роуел (*G.A. Rowell*) показали [7], что амплитуда электромагнитного сигнала прямо пропорциональна размеру трещины, генерирующей излучение. Измерения фонового электромагнитного излучения горных пород, описанные в работе [8], также показали, что амплитуда сигнала ЭМЭ прямо пропорциональна размеру трещины, а частота сигнала обратно пропорциональна размеру трещины.

Значительных успехов в выявлении предвестников горных ударов по параметрам электромагнитной эмиссии достигли исследователи из ЮАР [9]. В ходе исследований осуществлялась одновременная регистрация электромагнитных (в полосе от 190 кГц до 30 МГц) и сейсмических сигналов. Было обнаружено, что на частоте 4,92 МГц электромагнитные аномалии (скачки амплитуды сигнала) появлялись перед 80% подтвержденных сейсмических событий. Тем не менее приведенные в исследовании данные не позволяют утверждать, что природа электромагнитных аномалий связана с готовящимся разрушением.

Исследования [10] указывают на объективную сложность выделения сигнала, возникающего при разрушении горных пород, из шумов, вызванных работой тяжелого оборудования. Проблема заключается в том, что шумы от оборудования лежат в том же диапазоне частот, в котором излучают сигналы трещины в горных породах.

Исследования Института горного дела СО РАН [14], Томского политехнического университета [11–13] и других показывают, что перед разрушением массива пород:

− происходит увеличение амплитуды сигнала электромагнитной эмиссии;

− происходит увеличение интенсивности (количество импульсов за единицу времени) сигнала электромагнитной эмиссии;

− изменяется форма импульсов электромагнитной эмиссии (увеличивается время нарастания переднего фронта импульса, уменьшается частота сигнала электромагнитной эмиссии).

Наибольших успехов в практическом применении метода прогноза горных ударов по электромагнитной эмиссии горной породы доби-

лись научные коллективы Института горного дела СО РАН совместно с Новосибирским государственным техническим университетом (РЭМИ-1, РЭМИ-2, ИЭМИ-1, РЭМИ-3) и научный коллектив Томского политехнического университета (РЭМС-1, РЭМАС).

В качестве прогностического критерия в приборах ИЭМИ-1, РЭМИ-3 используется соотношение (2) значений средневыпрямленных напряжений, рассчитанных (1) на соседних временных интервалах:

$$V_{\text{CB}} = \frac{1}{\text{T}} \int_0^T |U(t)| dt \,, \tag{1}$$

$$K \le \frac{V_{\text{CB1}}}{V_{\text{CNB2}}} \,, \tag{2}$$

где K – пороговое значение, зависящее от заданной вероятности выдачи ложного сигнала тревоги. В случае превышения значения K выдается сигнал опасности. Важным свойством данного алгоритма является его автоматическая подстройка под фоновый уровень электромагнитного излучения. Сигнал тревоги выдается только в моменты изменения уровня ЭМИ, что соответствует смене стадий предразрушения и возникновению опасности динамических проявлений.

Достоинства метода

Возможность прогноза опасных проявлений горного давления (по данным исследования [11], за 1,5 ч до активного проявления). Не требует контакта с поверхностью выработки.

Недостатки метода

Сильное влияние шумов оборудования и других шумов на регистрацию сигналов электромагнитной эмиссии, вызванной разрушением горных пород. Мало экспериментальных данных. Сигналы электромагнитной эмиссии часто по своей природе носят случайный характер.

3. Термический отклик

Для поиска поврежденного (находящегося в стадии разрушения) массива горных пород успешно применяется метод термального отклика. Он заключается в том, что температура твердой (сплошной, целой) породы отличается от температуры разрушающейся. Для обнаружения таких мест породу искусственно разогревают и наблюдают ее охлаждение. При этом разрушающаяся порода остывает быстрее, чем целая. Исследования: United States Bureau of Mines (USBM) Merrill и Morgan, T.R. Yu и Кононов (ЮАР SIMRAC).

Достоинства

Точное обнаружение места и степени разрушающейся породы.

Недостатки

Трудно определить степень разрушения, сложная методика измерений, не выявляет предвестников, а лишь находит места с разрушающейся породой.

4. Ультразвуковая / Акустическая эмиссия

Ультразвуковая эмиссия может быть определена как физические вибрации, появляющиеся на частотах выше 20 кГц. Акустическая эмиссия – упругая волна, излучающаяся маленькими трещинами, форма которой изменяется в зависимости от нагрузки. Наблюдения [16] показали, что частотный диапазон акустической эмиссии лежит между 100 кГц и 2 МГц.

Акустическая эмиссия также служит надежным предвестником горного удара. Часто перед горным ударом происходит увеличение уровня акустической активности, хотя по акустической эмиссии трудно определить, когда именно последует горный удар. К тому же достаточно трудно выделить акустическую эмиссию, излучаемую образовывающимися трещинами от машинных и производственных шумов. Но регистрация акустической эмиссии иногда позволяет получить ценную информацию о местонахождении очага излучения по временной задержке сигналов от двух датчиков.

Достоинства метода

Достаточно точное определение места возникновения трещин и разрушений.

Недостатки метода

По акустической эмиссии трудно определить, когда именно последует горный удар. Трудно выделить акустическую эмиссию, излучаемую образовывающимися трещинами, от машинных и производственных шумов.

5. Виброакустический контроль

Метод виброакустической диагностики [4] в шахтных исследованиях используется преимущественно для оценки состояния естественных и искусственно созданных плоскопараллельных структур. Метод заключается в регистрации параметров вибрации объекта в области звуковых частот. Наиболее выгодным в энергетическом плане является ударное возбуждение исследуемого объекта с анализом характеристик его свободных колебаний.

Одной из важнейших характеристик колебательной системы произвольной природы является ее добротность. При незначительном оттоке энергии из системы ее основной резонанс выражен достаточно резко. Этому случаю соответствует отделяющаяся от породного массива его часть (отслоение, закол), а также не имеющий надежного механического контакта с массивом элемент крепи. При данных обстоятельствах амплитуда собственных колебаний на частоте максимума спектральной плотности большая. Длительность колебательного процесса также большая.

Достоинства метода

Точное обнаружение расслоений и дефектов в контактных соединениях. Возможность определения размера разрушения по характеру спектра свободных колебаний.

Недостатки метода

Сложность организации измерений. Необходимо обеспечить устойчивость к случайным акустическим помехам. Наличие возбудителя колебаний.

6. Лазерные измерения

Лазерные виброметры. Это удаленное определение вибрации поверхности, основанное на измерении эффекта Доплера отраженного луча лазера. Точные измерения скорости выше 500 мм/с могут быть осуществлены, используя современные портативные виброметры.

Лазерные дальномеры. Лазерные дальномеры используют время движения отраженного сигнала для измерения расстояния между объектом, от которого отразился сигнал, и дальномером. Таким образом, геометрические изменения формы выработок могут быть измерены с точностью до 0,22 мм.

Достоинства метода

Простота использования. Точность измерений вибраций и смещений пластов.

Недостатки

Сложно делать выводы об изменении напряженно-деформированном состоянии горных пород.

Выводы. Среди рассмотренных методов анализа изменений напряженно-деформированного состояния горных пород наиболее перспективным методом является мониторинг электромагнитной и акустической эмиссии. Наиболее важным в прогнозе опасных проявлений горного давления является время, на которое можно сделать прогноз. Электромагнитная эмиссия проявляет себя в качестве раннего предвестника за полтора часа до серьезного динамического проявления горного давления. Очень важным критерием при оценке метода прогнозирования горных ударов является количество ложных сигналов тревоги. Одновременный анализ электромагнитной и акустической эмиссии позволит снизить вероятность ложных тревог.

В ходе дальнейших исследований необходимо выбрать, какие параметры сигналов электромагнитной и акустической эмиссии и/или их отношений следует считать характеризующими резкое изменение напряженного состояния. Необходимо определиться с выбором аппарата для осуществления автоматизированного прогнозирования горных ударов. В качестве такого аппарата могут использоваться аппарат ней-

ронных сетей, статистическая обработка, экспертная оценка параметров сигналов и др.

Второе направление исследований – это решение проблемы фильтрации сигналов от технологических шумов. Для этой цели необходимо провести экспериментальное широкополосное исследование спектра электромагнитного излучения в реальных условиях шахтной выработки, провести анализ и выделить диапазоны частот, на которых технологические шумы проявляются в большей степени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев И.Ф. Управление удароопасностью горного массива изменением параметров взрывной отбойки при разработке железорудных месторождений Сибири: дис.... д-ра техн. наук / И.Ф. Матвеев. Новокузнецк, 2005. 314 с.

2. Ловчиков А.В. Горно-тектонические удары на Ловозерском редкометальном месторождении // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11, № 3. С. 385–392.

3. ОАО «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела. Межотраслевой научный центр (ВНИМИ)» [Электронный ресурс]: Статьи: Ловчиков В.С. Интенсивность и магнитуда горно-тектонических ударов. Электрон. текстовые дан. (1 файл). [Екатеринбург] – Режим доступа: http://urvnimi.narod.ru/int.htm, свободный.

4. Методическое пособие по комплексной геофизической диагностике породного массива и подземных геотехнических систем / Колл. авторов. Днепропетровск: ИГТМ НАН им. Н.С. Полякова НАН Украины, 2004. 75 с.

5. 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.

6. Bigby D., Bloor A., Chester C. Practical Detection of Underground Mine Roof Failure // 23rd International Conference of Ground Control. 2004. P. 334–343.

7. Hanson D.R., Rowell G.A. Electromagnetic radiation from rock failure. USBM RI 8594, US Department of the Interior. 1982. 24 p.

8. Rabiuovilch A., Frid V., Bahit D., Goldbaum J. Fracture area calculation from electromagnetic radiation and its use in chalk failure analysis // Int JRock Mech Min Sc. 2000. Vol. 37. P. 1149–1154.

9. Plessis J.A. Pre-feasibility investigation to provide an early warning of roof falls prior to support installation. SIMRAC final report COL607. 2000. 159 p.

10. Scott D.F., Williams T.J., Knoll S.J. Investigation of Electromagnetic Emissions in a Deep Underground Mine // 2004 SME Annual Meeting and Exhibit February 23–25, Denver, CO.

11. Беспалько А.А., Яворович Л.В., Федотов П.И., Виитман Е.В. Механоэлектрические преобразования в горных породах Таштагольского железорудного месторождения. В печати. 2008.

12. Беспалько А.А., Яворович Л.В. Вариации электромагнитной эмиссии при изменении напряженно-деформированного состояния массива горных пород после массового взрыва. // Сборник докладов III Международного совещания «Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений». 2004.

13. Беспалько А.А., Яворович Л.В., Федотов П.И. Связь параметров электромагнитных сигналов с электрическими характеристиками горных пород при акустическом и квазистатическом воздействии // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308, № 7. С. 18–23.

14. Курленя М.В., Вострецов А.Г., Кулаков Г.И., Яковицкая Г.Е. Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения горных пород. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 232 с.

15. Вострецов А.Г., Кривецкий А.В., Бизяев А.А., Яковицкая Г.Е. Аппаратура регистрации сигналов ЭМИ в условиях подземных горных выработок // ФТПРПИ. 2008. № 2. С. 115–122.

16. Lockner D. The role of acoustic emission in the study of rock fracture // Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 1993. Vol. 30(7). P. 883–899.

БИБЛИОТЕКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ДВУХЦВЕТНОГО ЖК-ИНДИКАТОРА

А.А. Ильин, м.н.с. НИИ ЭТОСС

При разработке измерителя электромагнитных сигналов РЭМАС-1 была поставлена задача обеспечить вывод информации на двухцветный жидкокристаллический дисплей с разрешением рабочей области 240×128 пикселей.

Для управления индикатором прибора был выбран ARM-контроллер. Особенностью контроллеров с ядром ARM является высокое отношение производительности к потребляемой мощности, что позволяет эффективно использовать его в системах, с длительным периодом автономной работы.

Существующие программные библиотеки позволяют отображать информацию с использованием привычных компонентов: объемные кнопки, поля выбора и т.п. Однако использование дополнительных декоративных элементов на дисплеях с низким разрешением сильно снижает их информативность. Для построения графического интерфейса на двухцветных дисплеях низкого разрешения была разработана библиотека графических компонентов, специализированная для работы с двухцветным ЖК-дисплеем низкого разрешения.

Варианты экранов, полученные с использованием библиотеки, показаны на рис. 1 (размер дисплея 6×11 см).

В верхней части экрана располагается графический элемент – «статусная строка», на котором отображается информация о текущем режиме работы прибора в виде пиктограмм и чисел. Остальная часть экрана условно делится на части:

− *строка заголовка* – используется для отображения названия текущего режима работы прибора;

– *информационная область* – отображает ход работы, текущие настройки или другую необходимую информацию в виде графиков, таблиц, или текстовых пояснений;

– *панели названий кнопок* – обозначают функции кнопок на панели прибора для текущего режима работы.

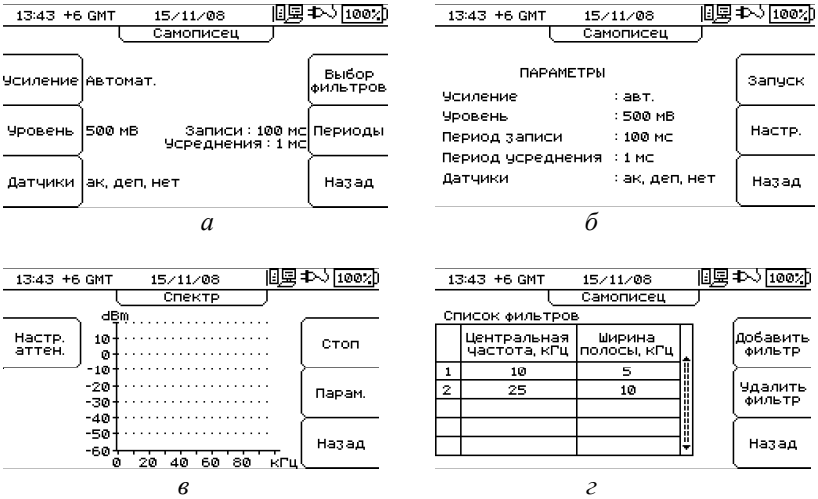


Рис. 1. Варианты экранов, полученных с помощью графической библиотеки:
а – диалог настройки; *б* – отображение текстовой информации;
в – поле для отображения графиков и гистограмм;
г – отображение информации в табличной форме

Библиотека использует символы высотой 8 пикселей. Ширина символа определяется его начертанием и может занимать от 0 (непечатные символы) до 8 пикселей.

Библиотекой реализована функция буферизации рабочих экранов. Эти функция позволяют увеличить скорость переключения между экранами за счет предварительной их буферизации.

Так как ARM-контроллер работает в качестве вспомогательного контроллера интерфейса, в библиотеку были включены некоторые функции для взаимодействия с центральным процессором: получение команды, распознавание и выполнение команды, отправка результата выполнения команды.

В итоге разработанная библиотека реализует набор функций, необходимый для вывода графической информации в удобном виде на ЖК-дисплей с низким разрешением. Программное обеспечение, основанное на библиотеке, применяется в контроллере ЖК-дисплея автономного измерительного прибора.

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ: ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ

А.Г. Кан, аспирант каф. РЭТЭМ

г. Томск, ТУСУР, т. +7-906-959-25-99, adf@sibmail.com

В массовое пользование надежно вошли такие электронные устройства, как сотовые телефоны, карманные и переносные компьютеры, коммуникаторы. Однако, несмотря на свои малые размеры и портативность, они требуют периодического подключения к бытовой электросети для заряда элементов питания. Это ограничивает применимость таких устройств вдали от населенных пунктов: во время длительных походов и научных экспедиций, длительных поездок за город. Увеличение емкости аккумуляторных батарей или покупка дополнительных сменных батарей не всегда оправданы: их стоимость достаточно высока, а объем запасаемой ими энергии все равно ограничивает время непрерывной работы устройства. Таким образом, качественно решить проблему питания может только переносной генератор.

На основании анализа мощности различных типов электронных устройств можно установить следующие основные требования, предъявляемые к генератору:

- Выходная мощность от 10 до 100 Вт.
- Независимость от расходуемых источников топлива.
- Наличие встроенного накопителя электроэнергии (аккумуляторной батареи).
- Масса всей системы не более 3 кг.
- Стоимость, не превышающая стоимости нескольких сменных аккумуляторных батарей для конкретного электронного устройства, питание которого предполагается обеспечивать.

Довольно значительный диапазон мощностей обусловлен попыткой охватить все разнообразие современных мобильных устройств. Если сотовый телефон даже при работе передающего модуля потребляет не более 3 Вт, то потребляемая мощность ноутбука запросто достигает 100 Вт. Соответственно в зависимости от конкретного электронного устройства требуется разная мощность источника питания. Конечно же, в случае реального производства будет разработано несколько вариантов систем под разные мощности в пределах обозначенного диапазона.

Для независимости от расходуемых источников топлива наиболее рациональным по соотношению мощность/цена является использование энергии ветра. Ветер скоростью от 4 м/с встречается в любое время года практически в любой точке земного шара. Для вырабатывания предельной заявленной мощности в 100 Вт при ветре 6 м/с потребует-

ся диаметр ротора порядка 1,5 м. Так как мощность пропорциональна площади, ометаемой лопастями, для выработки 10 Вт потребуется ротор диаметром лишь 0,5 м. С применением современных конструкционных материалов роторы любого из обозначенных диаметров могут быть без особых проблем изготовлены складными или разборными [1], при этом масса вместе с разборной мачтой для установки ветряка вполне может быть вписана в 2 кг или меньше, в зависимости от конкретной мощности установки.

В качестве генератора, непосредственно преобразующего энергию вращающегося ротора в электричество, лучше всего подходит бесколлекторный трехфазный генератор на постоянных редкоземельных магнитах. Он обладает малой массой, высочайшей надежностью, высоким КПД (от 85 до 95%) и, что очень важно, не требует для соединения с ротором механического редуктора. Генераторы такого типа являются стандартным решением для всех современных ветрогенераторов малой мощности [2].

Ядром системы является электронный блок управления. Он содержит в себе выпрямитель, преобразователи напряжения, аккумуляторные батареи и микроконтроллер. Блок управления осуществляет автоматизированное преобразование поступающей на вход электроэнергии и ее распределение для заряда аккумуляторов и питания полезной нагрузки. В случае если вырабатываемая генератором мощность недостаточна, цепь потребителя целиком подключается к аккумуляторным батареям.

Важным достоинством электронного блока управления является то, что он может быть не привязан к какому-то конкретному источнику внешней энергии, позволяя подключать себя к различным типам источников питания, включая бытовую электросеть.

Стоимость итогового устройства можно разделить на стоимость механической части и стоимость электронной начинки. Оценочные составляющие стоимости системы сведены в таблицу.

В настоящий момент промышленностью разных стран освоено производство относительно мощных (> 500 Вт) стационарных ветрогенераторов. Доступные для приобретения мобильные устройства питания ограничиваются, в основном, непригодными для транспортировки без автомобиля бензиновыми генераторами массой от 10 кг. Существующие в продаже бытовые солнечные батареи и некоторые модели портативных ветрогенераторов имеют очень низкую мощность и пригодны только для зарядки аккумуляторов туристических фонарей и радиоприемников, но при этом обладают неадекватно высокой стоимостью.

Ориентировочные цены элементов системы

Название элемента	Страна-производитель	Цена, руб.
Механическая часть конструкции ветрогенератора мощностью 100 Вт	Россия	3000–6000
Батарея питания из 6 литий-нанофосфатных элементов емкостью 2,3 А·ч	Китай	3500
Батарея питания из 2 литий-нанофосфатных элементов емкостью 2,3 А·ч	Китай	1200
Трехфазный генератор на основе редкоземельных магнитов мощностью 100 Вт	Китай	200–300
Микроконтроллер, ЖК-индикатор, органы управления	–	200–500
Электрорадиоэлементы выпрямителей, преобразователей напряжения	–	300–600
Корпус	Россия	100–200
Итого:		5000–11100

Разработка и производство простых в транспортировке и эксплуатации ветрогенераторов является перспективным направлением и, что немаловажно, даже несмотря на необходимость использования импортных комплектующих, подобное производство может быть развернуто на территории России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет-сайт «малая энергетика» // http://www.rosinmn.ru
2. Интернет-сайт зарубежного конструктора и производителя ветрогенераторов // http://www.windstuffnow.com

ОБЗОР РЫНКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

А.Ю. Хлебников, студент 5-го курса РКФ; Т.Х. Бибиков, студент 5-го курса КСУП; А.Г. Лощилов, м.н.с. НИИ ЭТОСС
г. Томск, ТУСУР, Aleksanhl@gmail.com

В данной статье будут рассмотрены приборы для диагностики напряженно-деформированного состояния горных пород. У каждого из производителей для рассмотрения выбраны приборы из верхнего модельного ряда, обладающие высокими технико-экономическими показателями.

Среди производителей отобраны приборы:

1. «ИЭМИ-1», Институт горного дела, Новосибирск.

2. «РЭМИ-3», Институт горного дела, Новосибирск.
3. «ПОИСК-2», ЗАО «Спектр КСК», Москва.
4. «A-Line 32D (DDM) «Лель», ЗАО «Спектр КСК», Москва.
5. «Эксперт-2014», ЗАО «Спектр КСК», Москва.
6. «Экситон», ООО «Неразрушающий контроль», Екатеринбург.

Обзор. *Измеритель электромагнитного излучения горных пород ИЭМИ-1*

Рис. 1. Внешний вид ИЭМИ-1

Прибор ИЭМИ-1 [2] (рис. 1) предназначен для измерения уровня электромагнитного излучения горных пород, фундаментов и опор строительных конструкций и других твердых материалов при их трещинообразовании, может использоваться при контроле трещинообразования в гидротехнических сооружениях, подземных хранилищах, а также в качестве индикатора повышенного уровня излучения электромагнитных полей промышленным и бытовым оборудованием.

Основное назначение прибора – контроль и прогноз динамических проявлений и обрушений на подземных и строительных объектах для обеспечения безопасных условий ведения работ.

Область применения:

– подземные горные работы в рудной, химической и строительной отраслях;

– гидротехнические объекты энергетики;

– подземные объекты атомной промышленности.

Рис. 2. Внешний вид РЭМИ-3

Прибор РЭМИ-3 для регистрации сигналов электромагнитного излучения

Прибор РЭМИ-3 [1] (рис. 2) предназначен для мониторинга электромагнитной обстановки в шахтах и рудниках, регистрации сигналов ЭМИ в течение длительного времени и осуществления их ввода в компьютер для последующей обработки.

Непрерывная регистрация сигналов ЭМИ в течение длительного времени позволяет получать значительный объем информации, обрабатывая ее, изучать ситуацию на различных горизонтах и судить об изменениях интенсивности и уровня элек-

тромагнитного излучения в различных точках рудника, а также обеспечить детальный спектрально-временной анализ.

Портативный акустико-эмиссионный прибор «ПОИСК-2»

Прибор «ПОИСК-2» [4] предназначен для обнаружения течей теплообменных аппаратов, трубопроводов, конденсаторов, емкостей водяных, воздушных, газовых и масляных; исследования процессов акустической эмиссии (АЭ); отработки целевых алгоритмов поиска течей нестандартных систем. Прибор обеспечивает:

Рис. 3. Внешний вид «ПОИСК-2»

– измерение максимальной амплитуды сигнала АЭ и определение ее математического ожидания и дисперсии за интервал времени;

– измерение энергии сигналов АЭ за интервал времени;

– режим автоматического обнаружения течи по амплитудным характеристикам АЭ сигнала;

– режим автоматического обнаружения сверхмалых течей;

– возможность контроля прочностных характеристик механических объектов методом АЭ;

– ручные и автоматические режимы работы.

Цифровая акустико-эмиссионная система A-Line 32D (DDM) «Лель»

A-Line 32D (DDM) «Лель» [4] (рис. 4) – новый представитель семейства цифровых акустико-эмиссионных систем A-Line 32D. Это многоканальная модульная система сбора и обработки акустико-эмиссионной информации с последовательным высокоскоростным цифровым каналом передачи данных. A-Line 32D (DDM) разработана с использованием передовых технологий в областях микроэлектроники и цифровой передачи данных.

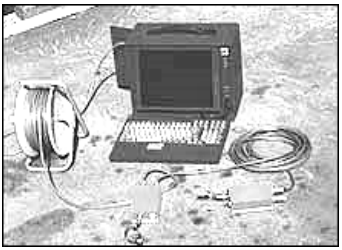


Рис. 4. Внешний вид A-Line 32D (DDM) «Лель»

Назначение – неразрушающий контроль методом АЭ без вывода из эксплуатации трубопроводов, сосудов под давлением, резервуаров, котлов, железнодорожных цистерн, буровых вышек, кранов, мостов и других конструкций; использование для контроля качества оборудова-

ния, выпускаемого для нефтяной, газовой, химической и других отраслей промышленности.

Цифровой акустико-эмиссионный диагностический комплекс «Эксперт-2014»

Рис. 5. Внешний вид «Эксперт-2014»

Портативный комплекс «Эксперт-2014» [4] (рис. 5) может иметь от 4 до 64 независимых АЭ каналов. Электропитание комплекса может выполняться от сети 220 В, от бортовой сети или от отдельного аккумулятора.

Функции:

– контроль сосудов, резервуаров, трубопроводов, буровых платформ, реакторов, ректификационных колонн, теплообменников, мостов, кранов и других конструкций в нефтяной, газовой, нефтехимической и других отраслях промышленности без вывода объекта контроля из эксплуатации;

– полевая диагностика и непрерывный мониторинг объекта контроля;

– обнаружение трещин, пор, включений, раковин, коррозии, утечек и других дефектов;

– диагностика скрытых поверхностей.

Система акустической эмиссии в режиме реального времени «Экситон»

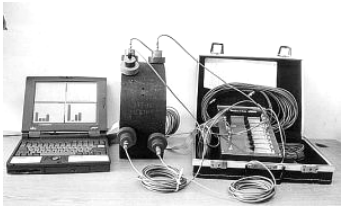


Рис. 6. Внешний вид «Экситон»

Оригинальное оборудование «Экситон» [3] (прибор и преобразователи) для проведения контроля методом акустической эмиссии с получением результатов контроля в режиме реального времени (рис. 6). Разработан в соответствии с РД-03-131-97 «Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов», утвержденных постановлением Госгортехнадзора России 11.11.1997. Аппаратура прошла стандартизацию Комитетом Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации. Технические условия: ТУ 4276-010-52620717-01. Сертификат об утверждении типа средств измерения RU.C.27.003.A №10379. Регистрационный номер Государственного реестра средств измерений №21486-01.

Оригинальной особенностью разработанной аппаратуры «Экситон» является получение оператором результатов контроля в реальном времени. Прибор представляет собой переносную систему, состоящую из ПК блокнотного типа, усилительно-преобразовательного блока с автономным питанием, ПАЭ и кабелей, расположенных в чемодане типа «Дипломат». В настоящее время имеется несколько модификаций аппаратуры, отличающихся количеством каналов (от 4 до 32), мощностью центрального процессора (до «Pentium-3»), дополнительными программными функциями (например, спектральный анализ), источником питания (таблица).

Сводная таблица параметров рассмотренных приборов для диагностики напряженно-деформированного состояния горных пород

Наименование характеристики	ИЭМИ-1	РЭМИ-3	«ПОИСК-2»	A-Line 32D (DDM) «Лель»	«Эксперт-2014»	«Экситон»
Рабочий диапазон частот, Гц	$(10\div70)\cdot10^3$	10÷70000	$(20\div600)\cdot10^3$	$(30\div500)\cdot10^3$	$(10\div300)\cdot10^3$	$(50\div500)\cdot10^3$
Регистрация электромагнитной эмиссии (ЭМЭ)	+	+	–	–	–	–
Регистрация акустической эмиссии (АЭ)	–	–	+	+	+	+
Динамический диапазон, не менее дБ	40	50	60	72	75	70
Чувствительность, мкВ	5,6	6	4	5	3	?
Частота дискретизации регистратора, Гц	?	200	?	25, 50, 100, 250, 500, 1000	?	?
Диапазон рабочих температур, °С	–5÷40	–5÷30	–5÷30	–5÷40	–5÷30	–5÷30
Напряжение питания, В	9	?	?	220	24	12
Потребляемая мощность, Вт	?	?	?	500	200	?
Габариты, мм	150×75×30	?	230×70×190	?	316x215x70	?
Масса, кг	0,25	0,3	0,8	?	5	8

Заключение. Промежуток времени между регистрацией первых предвестников опасного проявления горного давления и моментом обрушения по параметрам акустической эмиссии слишком мал. Поэтому для обеспечения безопасности горных работ в шахтных сооружениях необходимо учитывать и другие краткосрочные предвестники, такие как параметры электромагнитной эмиссии. Для построения более качественных систем прогнозирования горных ударов необходимо обеспечить регистрацию параметров электромагнитной и акустической эмиссии и анализ изменения их значений.

К настоящему времени вопросы исключения технологических шумов из результатов измерений решены недостаточно эффективно. Отсутствуют данные о естественном электромагнитном фоне в местах шахтной выработки. Для повышения достоверности обнаружения дислокаций и прогнозирования процессов разрушения горных пород необходимы дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вострецов А.Г., Кривецкий А.В., Бизяев А.А., Яковицкая Г.Е. Аппаратура регистрации сигналов ЭМИ в условиях подземных горных выработок // ФТПРПИ. 2008. № 2. С. 115–122.
2. Институт горного дела СОРАН [Электронный ресурс]: [Новосибирск] – Режим доступа: http://www.misd.nsc.ru/, свободный. Загл. с экрана.
3. ООО «Неразрушающий контроль» [Электронный ресурс]: [Новосибирск] – Режим доступа: http://ncontrol.ru/, свободный. Загл. с экрана.
4. Холдинговая компания ЗАО «СПЕКТР КСК». Комплексные системы контроля [Электронный ресурс]: [Новосибирск] – Режим доступа: http://www.spektr-ksk.ru, свободный. Загл. с экрана.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РЕГИСТРАТОРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ (РЭМАС-1)

А.Ю. Хлебников, студент 5-го курса РКФ; А.А. Бомбизов, ассистент каф. КУДР; А.Г. Лощилов, м.н.с. НИИ ЭТОСС
г. Томск, ТУСУР, Aleksanhl@gmail.com

В ходе многолетних исследований учеными Томского политехнического университета была установлена связь между спектром электромагнитного излучения и изменением напряжено-деформированного состояния горных пород. Предложена методика диагностики состояния пород. На основе разработанной методики было предложено создать прибор, который позволяет по результатам измерений спектра электромагнитных сигналов говорить об изменении напряженно-

деформированного состояния среды и даже предупреждать процесс обрушений [1].

В настоящий момент совместно с коллективом ТПУ и творческой группой ТУСУР ведется разработка регистратора электромагнитных и акустических сигналов (РЭМАС-1) для диагностики напряженно-деформированного состояния горных пород в шахтных сооружениях и обнаружения предвестников обрушений.

Целью данной работы является разработка конструкции корпуса прибора РЭМАС-1, который должен удовлетворять следующим требованиям:

– защита от пыли и влаги;

– защита от незначительных ударов при обрушении кровли;

– защита от взрыва, непосредственно связанная с опасностью воспламенения окружающей взрывоопасной среды;

– время автономной работы до 5 сут.

1. *Выбор и обоснование корпуса прибора*

Согласно требованиям на разработку прибор должен работать автономно, обладать герметичностью и быть мобильным (переносным). Исходя из этого, наиболее предпочтительными являются корпуса, выполненные в виде кейса и обладающие повышенной защитой от внешних воздействий. Был выбран кейс ЭКСП 230-1 из серии «Удачная экспедиция» [2] (рис. 1).

Рис. 1. Внешний вид кейсов «Удачная экспедиция»

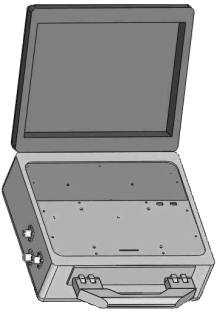


Рис. 2. Модель корпуса прибора

На следующем этапе проводилось моделирование в среде *SolidWorks*. Целью моделирования была оценка массогабаритных показателей прибора в целом.

Результаты моделирования (рис. 2) и рассчитанные значения масс элементов прибора приведены в табл. 1.

В результате получили приемлемую массу прибора, не превышающую 6,2 кг (согласно моделированию).

Таблица 1

Массовые характеристики прибора

Деталь	Масса, г
Рамка корпуса	902
Панель приборная	188
Крышка отсека батарей	135
Батареи	3500
Кейс	1600
Общая масса, г	6125

2. *Разработка несущей конструкции*

В процессе эксплуатации прибора будет производиться замена аккумуляторной батареи. Поэтому необходимо разделить пространство конструкции на две части, каждая из которых будет обеспечивать защиту прибора от пыли и влаги во время обслуживания и настройки.

Стандартная рамка, которая входит в комплект поставки кейса, не обеспечивает разделение внутреннего пространства, а также не обладает надлежащей прочностью. Исходя из вышеизложенных требований принято решение изготовить несущую конструкцию рамки. Данный вариант будет делить пространство кейса при помощи перегородки на две части: аппаратную часть (цифровой блок, аналоговый блок и блок системы питания) и аккумуляторный отсек. Такой вариант размещения будет защищать аппаратную часть от внешних воздействий при смене аккумуляторов (рис. 3).

Рис. 3. Несущая конструкция

На следующем этапе работы осуществлялся выбор материала для изготовления конструкции рамки, который должен соответствовать следующим требованиям: малая масса, прочность, низкая цена. Из всего многообразия сравнивались три вида: оргстекло, текстолит и сплав алюминия (табл. 2). Объем заготовки для изготовления рамки составляет 1550 см^3.

Таблица 2

Параметры материалов

Материал	Плотность, г/см^3	Масса заготовки, кг	Цена заготовки, руб.
Оргстекло	1,2	1,86	370
Стеклотекстолит	1,6	2,48	700
Сплав алюминия	2,8	4,34	760

Из табл. 2 видно, что наиболее приемлемым по цене и массе является оргстекло, но при его обработке возможны сколы и трещины.

Сплав алюминия обладает как большой массой, так и большой ценой. Оптимальным из всех вариантов является текстолит как по цене и массе, так и по сложности обработки.

3. *Выбор соединительных разъемов*

В конструкции предусмотрены соединительные разъемы для подключения акустического и двух электромагнитных датчиков, разъема питания и разъема для работы в сети RS-485. Все разъемы являются пылевлагонепроницаемыми и взрывобезопасными. Для защиты самих разъемов от пыли и грязи изготовлены металлические заглушки.

Из всего многообразия существующих разъемов выбраны соединители 2 РМГ 14Б4Ш1Е2Б (вилки герметичные) (рис. 4, *а*), предназначенные для работы в электрических цепях постоянного, переменного и импульсного тока. Разъемы соответствуют ГОСТ Р 51330.0–99 «Электрооборудование взрывозащищенное». Вилка 2РМГ сочленяется с розеткой типа 2РМТ 14КПЭ4Г1ВЕ (см. рис. 4, *б*).

4. *Разработка лицевой панели и органов управления прибором*

Лицевая панель устройства (рис. 5) состоит из двух частей: основной части и крышки батарейного отсека. Разделение лицевой панели на две части обусловлено необходимостью полностью изолировать регистратор от батарейного отсека согласно требованиям, предъявляемым к устройству. В качестве материала для изготовления лицевой панели было выбрано оргстекло толщиной 3 мм.

а *б*

Рис. 4. Соединители типов: *а* – 2РМГ; *б* – 2РМТ

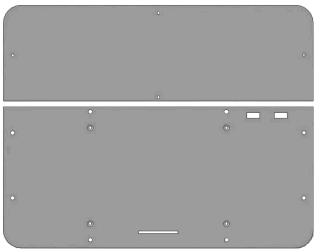


Рис. 5. Лицевая панель

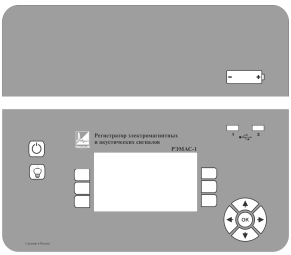


Рис. 6. Пленочная панель

В конструкции лицевой панели предусмотрены четыре отверстия для крепления дисплея. Отверстия выполнены с зенковкой для сохра-

нения ровной поверхности, так как в процессе сборки на лицевую панель приклеивается пленочная клавиатура (рис. 6), которая содержит органы управления и все основные надписи. Для подключения пленочной клавиатуры предусмотрено отверстие для шлейфа в лицевой панели. Также на лицевой панели выполнены 2 отверстия для подключения устройств хранения данных.

При разработке пленочной клавиатуры основывались на стиле аналогов прибора, используемых в горнодобывающей промышленности.

5. *Выбор аккумуляторных батарей и разработка конструкции для размещения их в аккумуляторном отсеке*

Основными критериями при выборе аккумуляторной батареи являлись потребляемая мощность прибора и минимально возможная масса. При выборе сравнивались следующие типы аккумуляторов: никель-металлогидридные, никель-кадмиевые, литий-ионные, литий-полимерные и свинцово-кислотные. Время работы прибора без подзарядки до 5 дней при потребляемой мощности 2–2,5 Вт. Соответственно емкость батареи должна быть 300–350 Вт·ч.

Литий-ионные аккумуляторы при такой емкости могут быть опасными, поскольку при нарушении режимов эксплуатации возможны необратимые химические реакции. Никель-кадмиевые и свинцово-кислотные отличаются высокой массой, литий-полимерные – высокой ценой. Поэтому выбор остановился на никель-металлогидридных аккумуляторах, по соотношению емкость–цена и емкость–масса.

Для размещения аккумуляторов в приборе разработана конструкция, обеспечивающая монолитность и простоту обслуживания (смена аккумулятора) (рис. 7).

6. *Макетирование*

На рис. 8 представлен общий вид прибора.

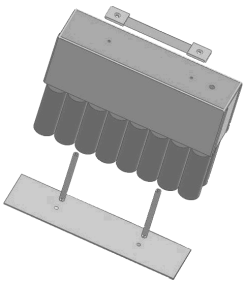


Рис. 7. Сборка батарейного отсека

Рис. 8. Общий вид регистратора электромагнитных и акустических сигналов

Заключение. В результате работы была спроектирована и изготовлена конструкция регистратора электромагнитных и акустических сигналов, удовлетворяющая всем предъявляемым требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. 04-Е.01.0.000 Герметичные ударопрочные кейсы «Удачная экспедиция»® стандартного исполнения [Электронный ресурс]: Электрон. дан. [Москва] – Режим доступа: http://udacha-case.ru/node/78, свободный. Загл. с экрана.

3. Краткий справочник конструктора РЭА / Под ред. Р.Г. Варламова. М.: Советское радио, 1972.

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СВЧ-ЗОНДА ДЛЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОСХЕМ НА КРИСТАЛЛЕ

А.А. Ладур, студент,
О.Ю. Морозов, нач. отдела ЭСТ ДИИС ЗАО «НПФ «Микран»
г. Томск, ТУСУР, ladur@ms.tusur.ru

Целью данной работы является моделирование перехода с копланарной линии на диэлектрике на копланарную линию в воздухе с более узкой шириной центрального проводника.

Интегральные СВЧ-микросхемы, такие как микропроцессоры, усилители, переключатели, генераторы и др., применяются в системах связи, передаче информации, вычислительных системах.

Для контроля качества производимых микросхем требуется поэтапный контроль микросхем, важнейшим является измерение параметров микросхем на пластине.

После завершения технологических процедур изготовления микросхемы, каждый из кристаллов на пластине тестируется, а затем пластина разрезается на отдельные кристаллы при помощи алмазной пилы. Тестирование производится для выявления бракованных кристаллов и исключения их из последующего производственного цикла.

Для тестирования кристаллов используют автоматические, автоматизированные и с ручным управлением зондовые станции.

Зондовая станция состоит из системы подключения, механизма передвижения и позиционирования пластин, измерительной системы.

Система подключения состоит из зонда, крепления, позиционера.

Одним из сложных узлов станции является устройство зонда, от которого зависят точность и стабильность измерений. Крупнейшими

производителями зондов, которые представляют более или менее подробную информацию по зондам, являются Cascade Microtech, PicoProbe, SUSS.

Основными характеристиками зонда как СВЧ-устройства являются рабочий диапазон частот и потери (прямые и возвратные) в тракте.

Существующие конструкции зондов можно разделить по количеству сигнальных выводов и симметрии выводов общего проводника (G) (рис. 1):

Рис. 1. Типы выводов зонда: *а* – много выводной; *б* – симметричный одновыводной; *в* – не симметричный

– один сигнальный проводник или несколько;

– симметричные и несимметричные.

По типу переходов (рис. 2):

– коаксиально-копланарный;

– коаксиально-копланарный с диэлектриком;

– микрополосково-копланарный,

– волноводно-копланарный.

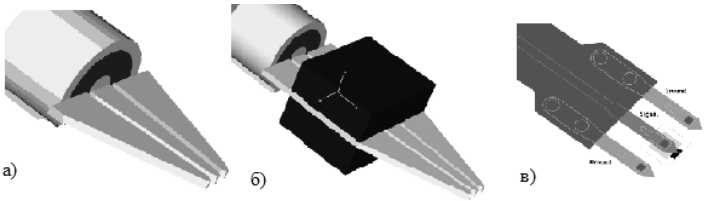


Рис. 2. Конструкции переходов: *а* – коаксиально-копланарный; *б* – коаксиально-копланарный с диэлектриком; *в* – микрополосково-копланарный

Существующие, но выше не названные конструкции можно получить путем комбинации перечисленных. Более универсальными являются переходы с коаксиального тракта на полосковую линию (ПЛ), в узких диапазонах на более высоких частотах используют переходы с волноводов на ПЛ.

Для проектирования СВЧ-зонда для измерения параметров микросхем на кристалле заданы следующие требуемые параметры:

– частота до 15 ГГц;

– потери не более 1 дБ;

– обратные потери не менее 20 дБ.

Рассмотрим возможную реализацию конструкции.

Переход с коаксиального тракта на копланарную линию на диэлектрике можно осуществить с помощью стандартных переходов. Переход с копланарной линии на диэлектрике на копланарную линию в воздухе требуется осуществить с учетом различных воздействий на конструкцию, как электрических для соблюдения постоянного волнового сопротивления, так и механических вследствие того, что выводы зонда подвергаются многократному контакту с контактными площадками микросхем.

Для изготовления выводов используется бериллиевая бронза, которая после формирования нужной конфигурации выводов подвергается термообработке для придания требуемых упругих свойств. Диэлектрическим материалом служит Rogers с диэлектрической проницаемостью 2,2, толщина выбирается исходя из расчетов. Первоначально будем использовать диэлектрик толщиной 0,127 мм.

Далее приведены результаты исследования некоторых элементов перехода.

1) Копланарная линия в воздухе с различной шириной сигнального проводника. На рис. 3 приведены результаты расчета коэффициентов передачи $|S_{21}|$ и отражения $|S_{11}|$ в зависимости от частоты для ширины сигнального проводника 0,5 и 0,1 мм и с зазором между проводниками 0,048 и 0,024 мм соответственно.

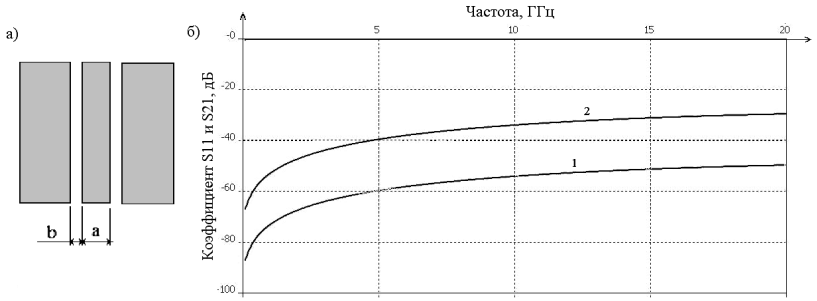


Рис. 3. Копланарная линия (КПЛ): *а* – схема;
б – S параметры, где *1* – КПЛ с *a* = 0,5; *2* – с *a* = 0,1

2) Копланарная линии на диэлектрике. На рис. 4 приведены результаты расчета коэффициентов $|S_{21}|$ и $|S_{11}|$ от частоты для ширины сигнального проводника *a* = 0,5 мм и зазором *b* = 0,07 мм.

3) Переход копланарной линии на диэлектрике на линию в воздухе с постоянной шириной сигнального проводника 0,5 мм. При изменении диэлектрика изменяется волновое сопротивление линии. Для компенсации этого варьируют зазор между сигнальным и общим про-

водником. Зазор на диэлектрической подложке составил $b = 0{,}062$, в воздухе $bb = 0{,}05$ мм. На рис. 5 приведены результаты расчета данной линии коэффициентов $|S_{11}|$ и $|S_{21}|$ от частоты.

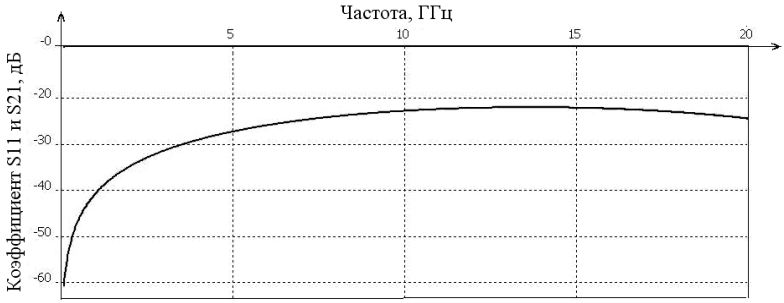


Рис. 4. Коэффициенты $|S_{21}|$ и $|S_{11}|$ от частоты КПЛ на диэлектрике

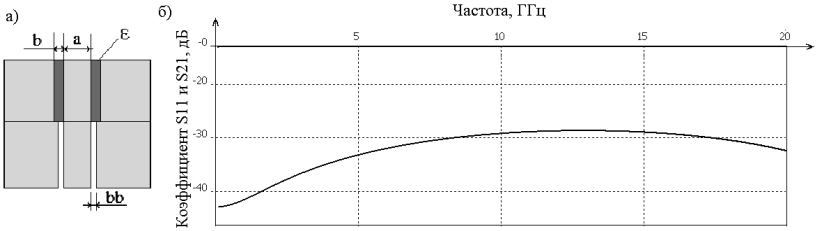


Рис. 5. КПЛ-переход с диэлектрика в воздух:
а – схема; *б* – коэффициенты $|S_{21}|$ и $|S_{11}|$ от частоты

4) Переход копланарной линии в воздухе от ширины сигнального проводника a = 0,5 мм до ширины aa = 0,1 мм, используемой на диэлектрической подложке, с соответствующими зазорами b = 0,072, bb = 0,036 мм (рис. 6).

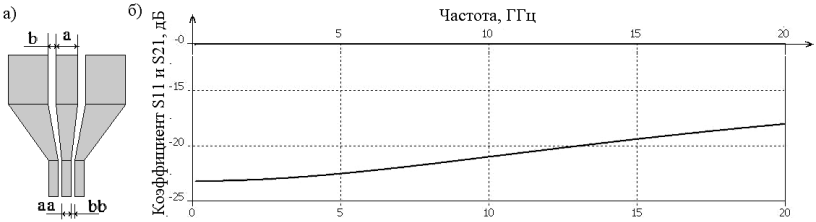


Рис. 6. КПЛ с изменением ширины сигнального проводника:
а – схема; *б* – коэффициенты $|S_{21}|$ и $|S_{11}|$ от частоты

Приведенные результаты расчета элементов СВЧ-зонда позволяют осуществить переход с копланарной линии на диэлектрике с шириной центрального проводника 0,5 мм на копланарную линию в воздухе с шириной центрального проводника 0,1 мм при соблюдении ширины проводника и зазоров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wollitzer M., Rosenberger B., Strasser W. Novel concept for a modular millimeterwave probe tip. 2000 IEEE. Reprinted, with permission, 55rd ARFTG Conference Digest, Spring, 2000.

2. Steffen Schott, Steffen Thies, Michael Wollitzer. Bernd Rosenberger Novel oncept for a dual on wafer probe tip and corresponding calibration techniques. 2004 // IEEE. Reprinted, with permission, 63rd ARFTG Conference Digest, Spring, 2004.

3. Cascade Infinity probe [Электронный ресурс] Engineering Probes – Режим доступа: http://www.cmicro.com/

МОНОЛИТНАЯ GaAs-ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА АКТИВНОГО БАЛАНСНОГО СМЕСИТЕЛЯ С ЛИНЕЙНОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ МСА2014

Е.В. Саратов, О.В. Дейс, студенты 6-го курса, каф. ФЭ,
А.В. Голиков, науч. рук., нач. сектора
СКТБ «Микроэлектроника»
г. Томск, ОАО «НИИПП», т. 5-47-51, npp_board@mail.ru
lokki_132003@mail.ru

Предыдущая интегральная схема МСА2012 имела рабочий диапазон не более 2 ГГц. Была поставлена задача увеличить верхнюю рабочую частоту до 8–12 ГГц, для этого необходимо было избавиться от нелинейных устройств типа сумматора.

В настоящее время на этапе опытной партии появилась МСА 2014 с линейной передаточной характеристикой. На рис. 1 изображена электрическая принципиальная схема смесителя.

Множительное ядро модулятора выполнено по классической кольцевой схеме Джона Гильберта на транзисторах VT17, VT25, VT31, VT38. Питание множительного ядра осуществляется линейной дифференциальной парой транзисторов VT26, VT32, которые в свою очередь запитаны генераторами стабильного тока VT27, VT33. Нагрузкой множительного каскада является каскод VT16, VT37, при этом блокировка стоковой емкости ядра Гильберта позволяет существенно расширить полосу пропускания множительного каскада.

Выходное напряжение на нагрузочных резисторах формируется в противофазе. Необходимые противофазные выходные напряжения формируются выходными каскадами, выполненными в виде фазорасщепителей VT15, VT23, VT24 и VT44, VT45, VT46.

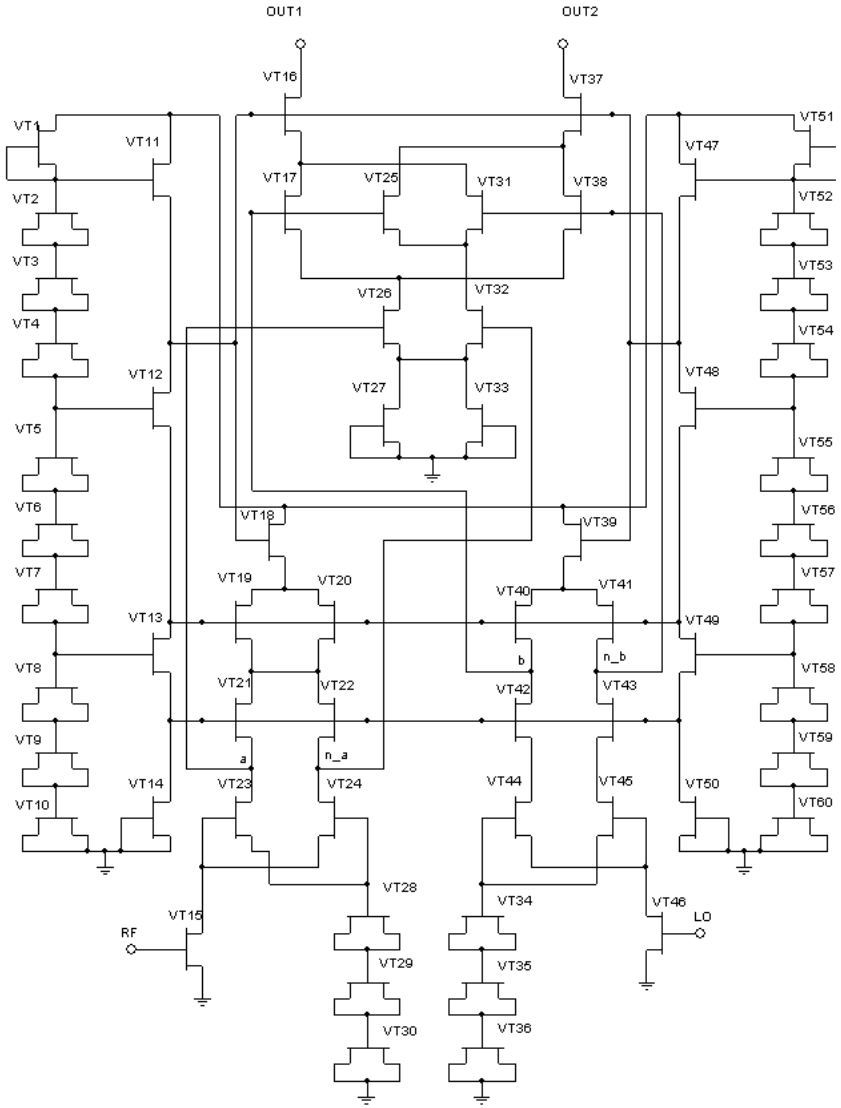


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема смесителя

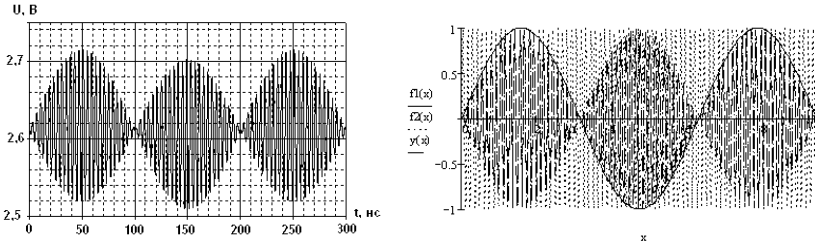
Питание фазорасщепительных каскадов осуществляется транзисторами VT18, VT39, включенными по схеме истоковых повторителей.

Формирование потенциалов рабочих точек каскада Гильберта, а также линеаризация выходных дифференциальных напряжений выполняются динамическими нагрузками VT19, VT20,VT21,VT22 в каскаде одного сомножителя, VT40,VT41, VT42, VT43 – в каскаде другого сомножителя.

Системные напряжения рабочих точек задаются диодными модулями на транзисторах VT2–VT10 и VT52–VT60, которые в свою очередь запитаны генераторами тока на транзисторах VT1 и VT51.

Интегральная схема активного балансного смесителя с линейной передаточной характеристикой питается от единого источника с напряжением 12 В и потребляет ток 55–57 мА.

В данном варианте интегральной схемы на выходе отсутствует сумматор, который вносил дополнительные помехи. Введены дополнительные цепи, которые линеаризуют выходную передаточную характеристику. На рис. 2 приведены результаты моделирования.



а *б*

Рис. 2. Сигнал на выходе ИМС: *а* – смоделированный в OrCad 9.2; *б* – в MathCad 14

Моделирование также показало, что данная схема может работать до частоты 15 ГГц.

В дальнейшем мы собираемся уменьшать длину затвора от 1 до 0,5 мм, что может дать увеличение частоты до 25–30 ГГц.

Ширина канала транзисторов подобрана таким образом, чтобы соблюдался баланс токов. Кристалл ИМС имеет форму параллелепипеда с размерами 0,75×0,75×0,2 мм. Контактные площадки, предназначенные для присоединения внешних выводов, имеют прямоугольную форму и размеры 0,125×0,1 мм. Поверхность контактных площадок имеет золотое электрохимическое покрытие ≥ 1 мкм.

Тыльная сторона кристалла имеет сплошное металлическое покрытие из сплава AuGe, что обеспечивает надежный монтаж кристалла

как с помощью проводящих клеев, так и с помощью припоя или эвтектического сплава.

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.

МОНОЛИТНАЯ GaAs-ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА УСИЛИТЕЛЯ-ОГРАНИЧИТЕЛЯ

Е.В. Саратов, О.В. Дейс, студенты 6-го курса, каф. ФЭ,
А.В. Голиков, науч. рук., нач. сектора
СКТБ «Микроэлектроника»
г. Томск, ОАО «НИИПП», т. 5-47-51, npp_board@mail.ru
lokki_132003@mail.ru

Необходимо разработать монолитный усилитель, ограничивающий выходной сигнал по уровню 400 мВ.

Усилитель-ограничитель выполнен в виде монолитной интегральной схемы на основе GaAs полевых транзисторов с затвором Шотки. При проектировании усилителя-ограничителя критериями качества считались:

- обеспечение максимально возможного усиления на каскад;
- обеспечение безусловной устойчивости;
- обеспечение линейной фазовой характеристики в широком диапазоне частот.

С учетом этих условий усилитель-ограничитель строился по двухкаскадной схеме: усилитель напряжения в сочетании с комбинированным усилителем тока и ограничивающие диоды.

Принципиальная схема усилителя-ограничителя приведена на рис. 1.

Усилитель напряжения выполнен по схеме «двойной каскод» на транзисторах VT5, VT6, VT9, VT10, VT11, VT12, VT13, VT14, обеспечивающей как высокое усиление по напряжению, так и максимальную устойчивость. При этом транзистор VT12 (80 мкм) выполняет функцию генератора тока, обеспечивающего рабочий режим каскода; тран-

зистор VT11 (320 мкм), включенный по схеме с общим затвором, обеспечивает согласование с входными цепями усилителя и основное усиление по напряжению; транзистор VT9 (80 мкм), включенный по схеме с общим затвором обеспечивает блокировку эффекта Миллера транзистора VT11, а транзистор VT10, включенный по схеме с общим истоком, обеспечивает фазовую инверсию выходного напряжения. Пары транзисторов VT5, VT6 и VT13, VT14 образуют динамическую нагрузку в комплиментарных цепях и имеют резистивный характер в диапазоне напряжений ±0,8 В.

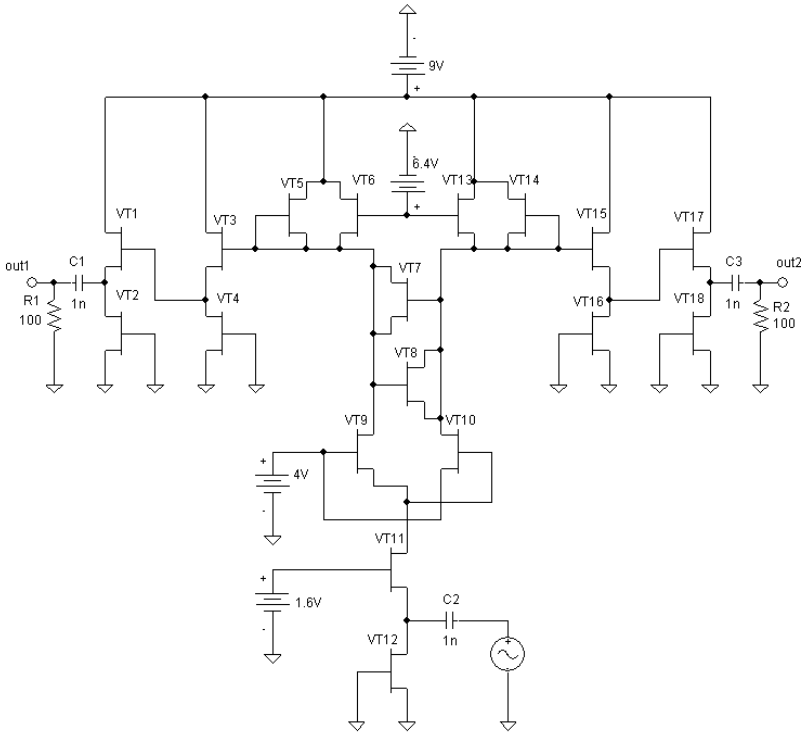


Рис. 1. Принципиальная схема усилителя-ограничителя

Симметричное ограничение выходного напряжения осуществляется диодной парой VT7, VT8 включенных встречно-параллельно. Для обеспечения согласования с нагрузкой 50 Ом служит двухкаскадный истоковый повторитель, выполненный на транзисторах VT3, VT4, VT15, VT16 (80 мкм каждый) и VT1, VT2, VT17, VT18 (320 мкм каж-

дый). При этом расчетное значение коэффициента передачи на согласованную нагрузку 50 Ом составляет не менее 0,65 (–4 дБ).

Ограничение достигается при использовании разности выходных сигналов. При этом четные гармоники в силу дифференциальности схемы эффективно подавляются.

Усилитель питается напряжением +9 В и обеспечивает в полосе частот 300–600 МГц стабильное усиление не менее 17 дБ при КСВН входа и выхода, не превышающем 2.

На рис. 2 изображен сигнал, подаваемый на вход усилителя-ограничителя.

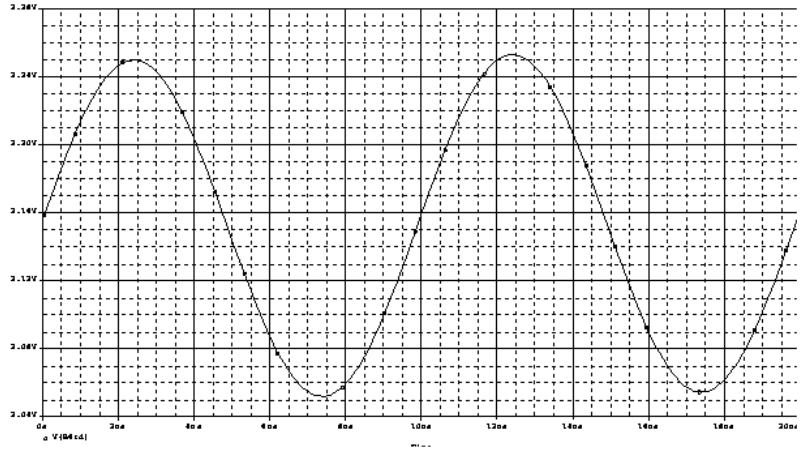


Рис. 2. Сигнал на входе

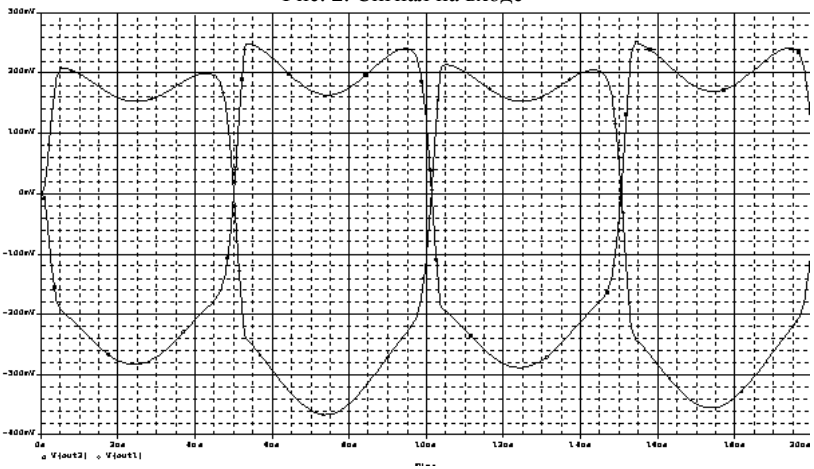


Рис. 3. Сигналы на выходах out1 и out2

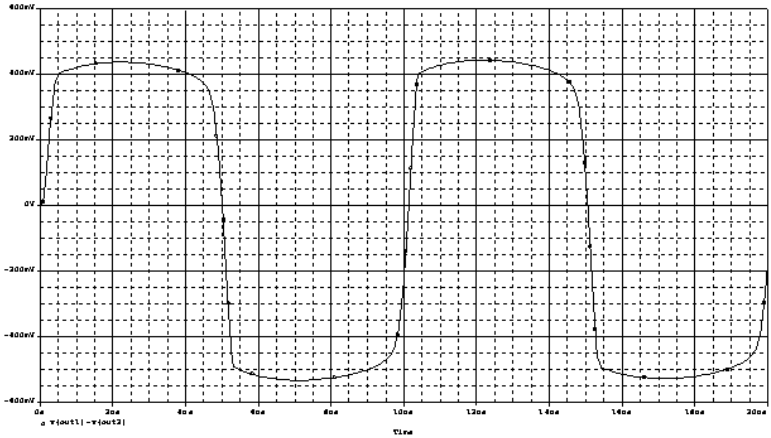


Рис. 4. Сигнал, получаемый вычитанием *U*(out1) – *U*(out2)

Получаемые на выходе сигналы приведены на рис. 3. При вычитании сигналов out1 и out2 получается сигнал, изображенный на рис. 4.

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. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. М.: Мир, 1991. 632 с.

УСТРОЙСТВО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА E&M В ИНТЕРФЕЙС ETHERNET

А.А. Жуков, студент 5-го курса, КИБЭВС

г. Томск, ТУСУР, т. 8-923-410-20-09, BuGG@sibmail.com

Выход из строя наземных каналов связи – серьезная проблема в работе крупной компании с разветвленной сетью филиалов по всей стране. Именно поэтому крупные компании со сложной территориально-распределенной структурой, в частности предприятия ОАО «Центрсибнефтепровод», при построении собственной сети связи делают ставку в первую очередь на надежность этой сети, по которой будет передаваться не только информация ЛТМ, но и осуществляться мониторинг состояния охранно-пожарной сигнализации.

Существующая система связи, основанная на ПЛК «ЭЛСИ», представлена на рис. 1. Для повышения надежности и резервирования ка-

налов особо важных участков будет проектироваться устройство, согласующее уже внедренные интерфейсы С1-ТЧ с распространенным и набирающем популярность интерфейсом Ethernet. В последующем это нововведение позволит расширять каналы и возможности канала.

Рис. 1. Существующая схема организации каналов связи ЛТМ

Как можно заметить из рис. 2, проектируемое устройство задумывается как автономное резервирующее устройство, которое можно использовать не только для резервирования, но и как полностью самостоятельное устройство.

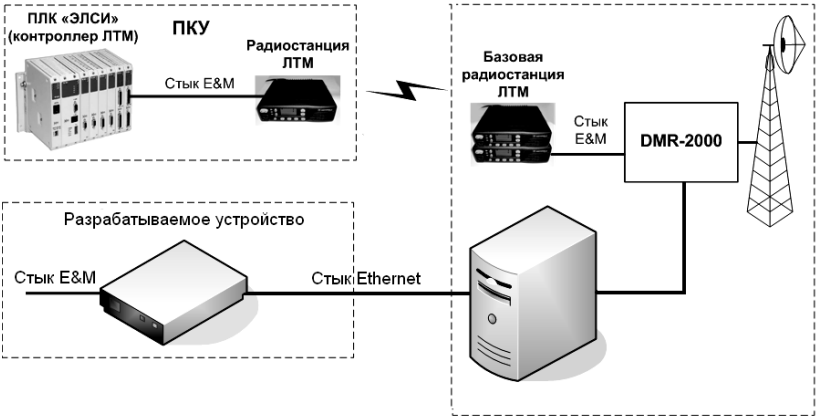


Рис. 2. Схема резервирования канала

На базовом пункте контроля и управления (ПКУ) имеется интерфейс E&M, состоящий из 30 голосовых каналов (64 кбит/с, стандарт G.712) и 2 сервисных каналов (канал для синхронизации и для передачи управляющих сигналов), а на выходе получается один E1 (2048 кбит/с), и наоборот. Задача, поставленная на предприятии, лимитирует каналы в 1 мбит/с (16 каналов).

Аналоговый сигнал с уровнем –13,5 дБм поступает на вход RX устройства и через буфер на частотомер. Частотомер определяет частоту и данные о ней передает в логическое устройство. В логическом устройстве выполняется функция «присваивания»: если на входе устройства частота равна 1300 Гц, то ей соответствует лог.1, если 2100 Гц, то лог.0. Там же происходят двоичное накопление ответа и его буферизация. После завершения ответа сохраненная цифровая последовательность передается в Ethernet-контроллер. Он формирует кадр, инкапсулируя в него двоичный ответ контроллера ЛТМ, и передает его на выход Ethernet интерфейса устройства.

Ethernet-контроллер принимает кадр данных и извлекает полезную нам информацию, выдавая ее в логическое устройство. Логическое устройство принятую последовательность нулей и единиц обрабатывает нужным образом и передает в широтно-импульсный модулятор. На выходе модулятора получаем двухчастотный «цифровой» синусоидальный сигнал: частота 1300 Гц соответствует лог.1, а частота 2100 Гц – лог.0. Фильтр низких частот препятствует прохождению высоких частот, тем самым сглаживает ступеньки «цифрового» синусоидального сигнала, преобразуя его в аналоговый. После усилителя низких частот на выходе TX получаем аналоговый сигнал с номинальным уровнем 4,3 дБм.

Таким образом, электрическая структурная схема устройства будет выглядеть, как показано на рис. 3.

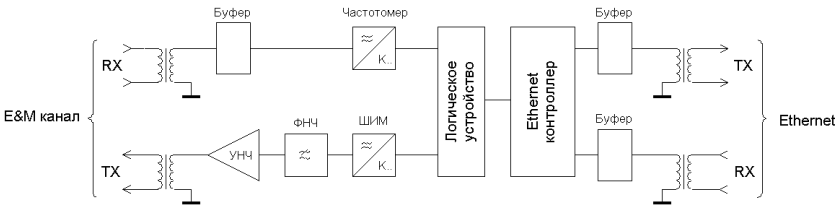


Рис. 3. Электрическая структурная схема устройства

Под кажущейся легкостью коммутации ТЧ-каналов и передачи по Ethernet скрывается масса «подводных камней», решение этих проблем будет изложено позднее.

СЕКЦИЯ 6

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

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

АВТОМАТИЗАЦИЯ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ

А.Ю. Абрамов, студент ЭФ; И.Г. Боровской, науч. рук.
г. Томск, ТУСУР, т. 8-923-277-78-68, Alligator325@ms.tusur.ru

В настоящее время все большим интересом пользуются программы для автоматизации процессов.

Целью данной работы является автоматизация программных продуктов или WEB-приложений. Автоматизация происходит удаленно при помощи Интернет-браузеров, подключаясь к объектам браузера и получая определенную информацию, которой нужно управлять.

Пример системы, которую можно автоматизировать по данному методу автора. Существует котельная, обслуживающая определенный район города; для контроля температуры котла имеется сервер, на котором размещен сайт, и в определенные поля заносится текущая температура котла. Удаленно на другом компьютере, на другом конце города, оператор подключается к этому сайту и постоянным обновлением страницы сайта контролирует, чтобы температура не превышала определенных критических границ. Для автоматизации этого процесса воспользуемся предложенным нами методом. Приложение оператора мониторинга подключается к запущенному браузеру к его объектам страницы и получает информацию об этом объекте, в данном случае это значение температуры. Для управления полученными данными приложение получает объекты управления, в данном случае это 2 кнопки: первая запускает систему нагрева котла; вторая останавливает систему нагрева котла.

Основной задачей было подключение к объектам браузера для получения информации о нужном нам объекте (к примеру, кнопка или поле ввода). И при получении информации об объекте необходимо обработать и выполнить определенные действия с данными объектами управления на данной странице браузера (к примеру, нажатие кнопки либо получение строки символов из текстового поля).

Для того чтобы получить информацию об объекте, используется функция AccessibleObjectFromPoint [1]. Данная функция извлекает адрес указателя интерфейса IAccessible [2] для объекта в определенной точке на экране, методами IAccessible получается информация об объекте.

Теперь, зная информацию о данном объекте, можно подключаться непосредственно к этому объекту.

Вначале нами была решена задача автоматизации мониторинга для браузера Internet Explorer, с помощью стандартных методов и функций подключения к COM интерфейсу. При этом программа подключалась к IE и получала коллекцию элементов, находила нужные объекты и выполняла с ними определенные действия для автоматизации процесса. Но данный метод мог работать непосредственно с данным браузером, поэтому был разработан другой подход решения данной задачи.

При таком подходе можно автоматизировать мониторинг WEB-процесса. Данный метод применялся для работы с браузерами IE, Mozilla FireFox, Opera. С другими браузерами исследований еще не проводилось, но с помощью данного подхода можно получить доступ к объекту любого браузера.

Предложенный метод автоматизации программных продуктов при помощи WEB решает множество задач и избавляет от использования громоздких программных продуктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. MSDN 2006, ссылка: ms-help://MS.MSDNQTR.2006JAN.1033/msaa/msaaccrf_5jp0.htm
2. MSDN 2006, ссылка: ms-help://MS.MSDNQTR.2006JAN.1033/msaa/msaaccrf_5q05.htm

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ СПУТНИКА DEMETER

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

г. Улан-Удэ, ОФП БНЦ СО РАН, т. (3012)433-210, dawu@mail.ru

Спутник DEMETER – Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions – запущен на круговую полярную орбиту с наклонением – 98,3° и высотой ~ 710 км. Спутник разработан в CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) и контролируется из Тулузы (Франция). Научные цели программы DEMETER: исследование возмущений ионосферы, связанных с сейсмической активностью, изуче-

ние до- и послесейсмических эффектов; изучение ионосферных возмущений, связанных с антропогенной деятельностью, и механизмов генерации этих возмущений; получение динамических данных о глобальном электромагнитном окружении Земли на высоте ~ 700 км. Для достижения этих целей DEMETER измеряет шесть компонент электромагнитного поля в широком диапазоне частот и определяет параметры плазмы: ионный состав, электронную концентрацию и температуру, потоки энергичных электронов. Научное оборудование состоит из пяти инструментов: ICE измеряет три компоненты электрического поля от постоянного тока (DC) до 3,5 МГц; IMSC – три магнитных датчика проводят измерения компонент магнитного поля от нескольких Гц до 20 кГц; IAP – анализатор ионов; IDP – детектор энергичных частиц; ISL – детектор Лэнгмюра, измеряет концентрации электронов и ионов в плазме, электронную температуру.

На основе анализа имеющихся подходов и программных средств для обработки и анализа данных спутника DEMETER установлено, что существующие решения не обеспечивают эффективного управления информационными потоками и являются узкоспециализированными.

Предложена, разработана и реализована система автоматизированной обработки и анализа данных спутника DEMETER, представляющая собой эффективный инструмент для мониторинга электромагнитного окружения Земли на высотах 660–710 км.

Разработан способ хранения и управления информацией спутника DEMETER на основе реляционной СУБД MySQL, позволяющий оптимизировать информационные потоки. Весь процесс обработки данных электромагнитных измерений в околоземном космическом пространстве разделен на первичную и вторичную обработку.

Тестирование и оценка тактико-технических характеристик разработанного комплекса показали высокое быстродействие и эффективность управления информационными потоками. Суммарный объем обработанных рабочих данных составил 8 Гб.

В статье представлены результаты исследования ионосферных эффектов солнечных затмений 29 марта 2006 г. и 1 августа 2008 г. по данным спутника DEMETER [1]. Во время обоих затмений на высотах спутника (~670 км): в спектрограммах по электрической компоненте отмечено увеличение интенсивности и уширение спектров сигналов ОНЧ-передатчиков на частотах 16,56; 17,8; 18,3; 19,8 кГц; зарегистрировано понижение электронной температуры на 200–400 K; обнаружены вариации уровня электронной и ионной концентраций, значительно зависящие от широты и обстоятельств затмений.

Предложенная система автоматизированной обработки и анализа данных и база данных спутника DEMETER создают основу для разра-

ботки многопараметрических математических и физических моделей учета влияния электромагнитной обстановки в околоземном космическом пространстве. Эти модели необходимы для разработки практических методов обеспечения сейсмобезопасности в Байкальской рифтовой зоне. Они повышают уровень понимания физических процессов, протекающих в различных оболочках Земли (литосфера, атмосфера, ионосфера).

Дальнейшие исследования целесообразно ориентировать в сторону более глубокого теоретического анализа прямых и обратных задач диагностики как технического комплекса спутника DEMETER, так и околоземного космического пространства, накопления статистического материала. Представляется также совершенно необходимой реализация автоматизированной информационной базы данных для российских пользователей на основе математических моделей прогнозирования состояния околоземного космического пространства во время редких геофизических явлений.

Работа подготовлена при финансовой поддержке СО РАН и РФФИ (Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 56 и гранты РФФИ № 08-02-98007, № 09-05-98611).

ЛИТЕРАТУРА

1. Буянова Д.Г., Аюров Д.Б. Вариации СНЧ-ОНЧ-НЧ-спектров по данным спутника DEMETER // Распространение радиоволн – 22: Труды конференции. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2008. Т. 2. С. 13–16.

МОДЕЛИРОВАНИЕ 3D-ПОМЕЩЕНИЙ СРЕДСТВАМИ OPENGL

Л.А. Добронравова, А.В. Галинова,
М.Ю. Катаев, науч. рук.
г. Томск, ТУСУР, ФСУ, каф. АСУ, гр. 435-2

Проектирование помещений – это важная часть перед строительством всего здания. В настоящее время, как и ранее, актуальна задача повышения качества планировочных, архитектурных и строительных решений, снижения стоимости зданий и сооружений, а также жилых домов, сокращения удельных капитальных вложений на единицу вводимой в действие мощности. Решение этих задач возможно лишь при достижении высокого качества всех проектных разработок.

Цель данного проекта – разработать программный продукт, посредством которого даже человек без специального инженерного образования сможет спроектировать 3D-помещение. Под понятием «3D-помещение» нами понимается как минимум одна комната, которая

может иметь произвольное количество окон и дверей, ведущих в другие помещения.

Когда Вы представляете, какой будет Ваша квартира после перепланировки или формируете образ будущего дома, Вы создаете архитектурную идею – первое звено процесса проектирования помещений. Идея строительного проекта может быть сколь угодно смелой и интересной, но самое главное – она должна быть реалистичной. При архитектурном проектировании необходимо учитывать, что проект квартиры или других помещений должен быть конструктивно возможен и не всегда можно объективно оценить план, нарисованный на бумаге.

Данные для моделирования 3D-помещения, такие как координаты расположения стен, окон и дверей – текстуры, накладываемые на потолок, пол или стены, хранящиеся в текстовом файле.

В развитие проекта планируется создать интерфейс, через который любой, захотевший сделать ремонт человек сможет, набросав двумерный план расположения стен, схемы освещения, посмотреть смоделированное программой 3D-помещение (например, квартиру).

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ

Л.А. Голубенкова, И.М. Федотенко, студенты 5-го курса,
С.А. Курлаев, ассистент каф. ПСиБД
г. Новосибирск, НГТУ, т. 346-06-00, kurlaevwork@ngs.ru

Одним из важнейших критериев при оценке деятельности сотрудника является эффективность его работы. В настоящее время в условиях мирового финансового кризиса задача повышения эффективности бизнес-процессов внутри компании является особенно актуальной. Предоставленный для выполнения служебных обязанностей компьютер зачастую используется сотрудниками компании в собственных целях, что, естественно, значительно влияет на производительность труда. Неудивительно, что в сложившейся ситуации руководители компаний все чаще прибегают к покупке систем, контролирующих использование рабочего времени сотрудниками.

В настоящее время такого рода системы получили широкое развитие за рубежом. Особенно актуально применение таких систем для контроля деятельности тех сотрудников, обязанности которых подразумевают непрерывную работу с компьютером в течение всего дня (например, операторы, программисты и пр.). Большая часть таких систем для определения активности пользователя использует сигналы с клавиатуры и мыши, частоту смены окон, запущенные приложения. Но такая информация дает только приблизительное представление

о том, сколько времени человек просидел за компьютером и что при этом делал. К тому же в сети Интернет стали появляться программы, имитирующие активность на компьютере.

Для того чтобы составить наиболее полное представление о действиях сотрудника, необходимо следить как за «виртуальной», так и за «реальной» средами рабочего места. Под «виртуальной» средой следует понимать персональный компьютер и все процессы, происходящие внутри него. Под «реальной» – пространство вокруг компьютера. Представленная система позволяет следить за обеими средами (рис. 1). Для слежения за «реальной» средой используется верификация пользователя по изображению, полученному с установленной на мониторе компьютера web-камеры. Для отслеживания активности в «виртуальной» среде в течение рабочего дня собираются данные о запущенных на компьютере сотрудника приложениях и о состоянии экрана.

Представленная система состоит из следующих элементов:

1) клиентское приложение, собирающее данные и установленное на компьютерах сотрудников вместе с web-камерами;

2) два серверных приложения, занимающихся обработкой полученных из клиентских приложений данных в обычном режиме и режиме обучения;

3) база данных, хранящая все собранные данные;

4) приложение, визуально отображающее нахождение сотрудников на рабочем месте и формирующее отчеты об их присутствии на рабочем месте и деятельности в течение рабочего дня.

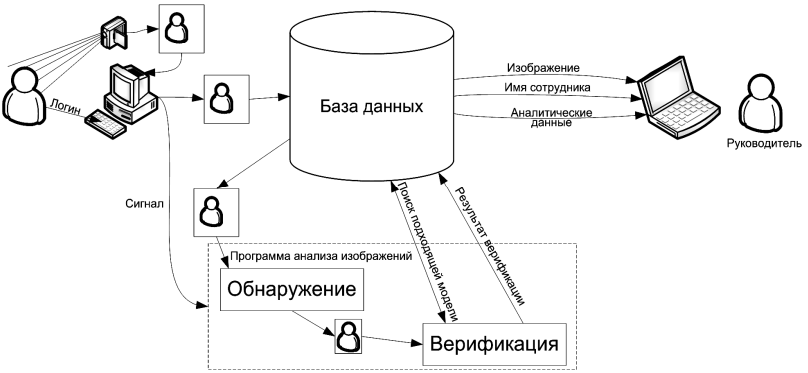


Рис. 1. Принципиальная схема работы системы

Система работает в двух режимах – обычном и обучающем.

В режиме обучения сотрудник авторизуется в клиентском приложении, после чего с помощью интерактивных подсказок организуется

сбор некоторого количества изображений сотрудника при заданных положениях головы. Затем собранные данные отправляются на сервер, где, используя их, серверное приложение производит обучение модели для данного сотрудника. Результаты обучения вместе с изображением сотрудника сохраняются в базе данных в таблице сотрудников.

В обычном режиме сотрудник авторизуется в клиентском приложении, после чего в течение рабочего дня (пока клиентское приложение работает на компьютере сотрудника) повторяются следующие действия: определяются все запущенные приложения, которые были активны за фиксированный промежуток времени, и время, в течение которого каждое из них было активно, делается снимок экрана (PrintScreen), захватывается изображение сотрудника из видеопотока web-камеры, после чего собранные данные вместе с идентификаторами сотрудника и компьютера отправляются на сервер.

На сервере переданное изображение сотрудника обрабатывается следующим образом: сначала производится процедура обнаружения лица на изображении, а затем выделенное лицо проходит процедуру верификации, целью которой является определение, принадлежит ли лицо на изображении сотруднику с указанным идентификатором. Если верификация проходит успешно, т.е. если изображенное лицо действительно принадлежит сотруднику с указанным идентификатором, то собранные данные сохраняются в таблицу истории. Если же верификация завершилась неуспешно, то собранные данные сохраняются в таблице с нераспознанными данными (это делается для того, чтобы сотрудник, который ошибочно не был распознан системой, мог доказать, что он на самом деле был на рабочем месте).

Для реализации функций контроля и управления в состав системы входит приложение, позволяющее:

1) отобразить всех сотрудников организации в соответствии с иерархией их должностей, указав, кто в текущий момент времени находится на рабочем месте;

2) вывести подробную информацию о сотруднике, включающую персональные данные, снимок экрана в текущий момент времени, сведения об активных приложениях в текущий момент времени и за весь день;

3) при различных параметрах отбора данных формировать и выгружать в Excel отчеты:

а) о присутствии сотрудников на рабочем месте (показывает, какой сотрудник за каким компьютером сидел в течение заданного промежутка времени),

б) об эффективности использования рабочего времени (позволяет оценить отношение реально отработанного времени к плановому для каждого сотрудника),

в) об активности приложений на клиентском компьютере (позволяет увидеть, какие программы использовались в течение выбранного интервала времени);

4) отобразить разнотипные диаграммы активности приложений на клиентском компьютере при различных параметрах;

5) добавлять, удалять и редактировать данные о сотрудниках; также имеется возможность просматривать нераспознанные системой изображения и вручную переносить их в таблицу истории, если на самом деле сотрудник был на рабочем месте;

6) редактировать организационную структуру компании.

В зависимости от того, кем было запущено приложение, оно предоставляет разные права доступа к возможностям системы и отображает пользователю только ту часть организационной структуры компании, которая ему подчиняется.

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ОТОБРАЖЕНИЕМ ДАННЫХ СИСТЕМЫ «1С: УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ» В ИНТЕРНЕТЕ

А.В. Козлов

г. Томск, ТУСУР, skat2005@mail.ru

В данной статье рассмотрен алгоритм получения данных из «1С:Предприятие 8.1» сайтом предприятия. Взаимосвязь осуществляется с помощью технологии веб-сервиса через soap-протокол.

Веб-сервисы – это технология, позволяющая приложениям, написанным на разных языках программирования и работающим на различных программно-аппаратных платформах, легко обмениваться данными через четко определенные интерфейсы. По своей сути веб-сервисы являются одним из воплощений технологии RPC – удаленного вызова процедур. В основе веб-сервисов лежат следующие стандарты:

- XML – для передачи структурированных данных;
- SOAP [1] – протокол обмена сообщениями на базе XML;
- WSDL – язык описания интерфейсов веб-сервисов;
- UDDI – каталог веб-сервисов.

Список технологий, относящихся к веб-сервисам, увеличивается практически ежедневно, но SOAP является, вероятно, наиболее важной из них. Он стремительно становится стандартным протоколом доступа к веб-сервисам. Он использует XML-сообщения для обмена информацией между конечными точками, и в то же время предостав-

ляет некоторые преимущества бинарных протоколов. Поддержка RPC (Remote Procedure Calls) вначале была одной из незначительных возможностей протокола SOAP, но сейчас она превратилась в одну из наиболее часто используемых возможностей.

Модуль 1с

Чтобы передавать данные из «1С:Предприятие 8.1», необходимо:

1) создать тип xdto для передачи данных. Система передает данные этого типа при вызове удаленной процедуры;

2) создать веб-сервис. В веб-сервисе реализуются удаленные процедуры. Он также обеспечивает взаимодействие с базами данных 1с и передает данные вызвавшей удаленную процедуру программе.

Далее рассмотрим подробно эти два аспекта.

Механизм XDTO

Механизм XDTO является универсальным способом представления данных для взаимодействия с различными внешними источниками данных и программными системами.

Аббревиатура XDTO обозначает XML Data Transfer Objects.

Механизм XDTO позволяет создать модель представления данных (модель типов и значений), которая, с одной стороны, обеспечивает возможность просто и естественно манипулировать данными в среде «1С:Предприятия 8.1», а с другой стороны, данная модель хорошо приспособлена для прозрачного преобразования данных в другие форматы, главным образом XML.

Механизм Web-сервисов

Механизм Web-сервисов в системе «1С:Предприятие 8.1» является средством поддержки сервисно-ориентированной архитектуры (Service-Oriented Architecture, SOA) [2].

Сервисно-ориентированная архитектура представляет собой прикладную архитектуру, в которой все функции определены как независимые сервисы с вызываемыми интерфейсами. Обращение к этим сервисам в определенной последовательности позволяет реализовать тот или иной бизнес-процесс.

Сервисно-ориентированная архитектура предлагает новый подход к созданию распределенных информационных систем, в которых программные ресурсы рассматриваются как сервисы, предоставляемые по сети. Такой подход позволяет обеспечить быструю консолидацию распределенных компонентов – сервисов – в единое решение для поддержки определенных бизнес-процессов.

Механизм Web-сервисов позволяет использовать «1С:Предприятие 8.1» как набор сервисов в сложных распределенных и гетерогенных системах, а также позволяет интегрировать его с другими про-

мышленными системами использованием сервисно-ориентированной архитектуры.

Конфигурация «1С:Предприятие 8.1» может экспортировать свою функциональность через Web-сервисы. Определения Web-сервисов задаются в дереве конфигурации и становятся доступны произвольным информационным системам благодаря публикации их на веб-сервере.

Кроме этого, «1С:Предприятие 8.1» может обращаться к Web-сервисам сторонних производителей как через статические ссылки, определенные в дереве конфигурации, так и используя динамические ссылки, создаваемые средствами встроенного языка.

В основе сервисной архитектуры «1С:Предприятие 8.1» находится менеджер сервисов. Менеджер сервисов выполняет следующие функции:

- управление пулом соединений с информационными базами;
- поддержка WSDL описания сервиса;
- реализация протокола SOAP, сериализация сообщений, вызов соответствующего сервиса.

Менеджер сервисов выполняется в процессе сервисного хоста, который выполняет функцию приема/передачи сообщений из/в менеджер сервисов. В качестве сервисного хоста может использоваться веб-сервер IIS или Apache.

Менеджер сервисов содержит в себе пул соединений, через которые идет взаимодействие с базами данных «1С:Предприятие 8.1».

Предоставление функциональности «1С:Предприятие 8.1» через Web-сервисы

Для того чтобы функциональность «1С:Предприятие 8.1» могла быть доступна внешним потребителям Web-сервисов, следует выполнить следующие действия:

- настроить поддержку Web-сервисов «1С:Предприятие 8.1»;
- создать в конфигурации необходимое количество Web-сервисов;
- опубликовать Web-сервисы.

Таким образом, веб-сервисы – это идеальное решение для интеграции программных систем. По сути, это единый язык, на котором могут говорить приложения, написанные разными людьми на разных языках программирования и работающих на разных программно-аппаратных платформах. Сама технология базируется на открытых стандартах и имеет хорошую поддержку во всех современных языках программирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнеев М. Практическое использование SOAP в PHP 5. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.phpclub.ru/detail/article/soap]

2. Управляемое приложение [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.1C.ru]

ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА «РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУТП»

Е.К. Красовская, студентка 4-го курса, В.Н. Скороспешкин, доцент
г. Томск, ТПУ, 8-903-954-27-66, mily_katya@mail.ru

В настоящее время трудно представить какой-либо технологический процесс без автоматической или автоматизированной системы управления, поскольку наличие данной системы управления обеспечивает качественный контроль и управление технологическим процессом, а также оптимизацию экономических затрат.

Разработка АСУТП представляет собой достаточно сложную и трудоемкую работу, требующую высокой квалификации специалистов, занимающихся проектированием и наладкой таких систем. При этом современный специалист должен обладать навыками программирования контроллеров и создания программ визуализации с помощью различных SCADA-систем.

В этой связи подготовка высококвалифицированных специалистов в области АСУТП требует наличия учебных лабораторий, оснащенных промышленными микропроцессорными микроконтроллерами, а также программными продуктами, и требует наличия методического обеспечения по выполнению лабораторных работ и курсовых проектов. Целью данной работы является создание программно-методического обеспечения для выполнения курсового проекта по дисциплине «Автоматизированные информационно-управляющие системы», позволяющего приобрести теоретические знания в области автоматизированного управления и получить практические навыки составления программ контроля, регулирования и сигнализации, реализуемых промышленными микропроцессорными контроллерами, а также позволяет изучить SCADA-пакеты и их использование для визуализации процесса регулирования.

Лаборатория АСУТП кафедры автоматики и вычислительной техники Томского политехнического университета оснащена промышленными микропроцессорными контроллерами «Ремиконт Р-130», «Кросс», «Кросс-500», «Трасса-500», которые характеризуются высокой надежностью и соответствием международным стандартам. Использование данных контроллеров при выполнении курсового проекта позволяет осуществить проверку работоспособности созданного программного обеспечения и его отладку.

На современном мировом рынке программного обеспечения существует большое количество фирм, выпускаемой продукцией которых являются SCADA-пакеты: Trace Mode, FIX, Citect, RealFlex,

InTouch, Genesis, MasterScada и др. Выполнение курсового проекта основано на применении Scada-пакета MasterSCADA.

MasterSCADA – это принципиально новый инструмент разработки АСУТП, в котором реализована совокупность средств и методов, обеспечивающих резкое сокращение трудозатрат и повышение надежности создаваемой системы, а также характеризующихся оптимальным соотношением цены и качества. MasterSCADA является полнофункциональным SCADA-пакетом программ с расширяемой функциональностью.

В данной работе представлено программно-методическое обеспечение для выполнения курсового проекта «Программное обеспечение АСУТП», реализованное на базе промышленных контроллеров «Ремиконт Р-130», «Кросс», «Кросс-500», «Трасса-500».

Методическая часть содержит комплекс методических указаний по изучению:

− контроллеров «Ремиконт Р-130», «Кросс», «Кросс-500», «Трасса-500»;

− программного пакета ISaGRAF для реализации программы регулирования;

− OPC технологии построения АСУТП;

− отечественного пакета MasterSCADA.

Программное обеспечение содержит программы визуализации процесса регулирования, контроля и сигнализации. Программы визуализации позволяют реализовать следующие функции:

− визуализация изменения параметров системы регулирования в цифровой и графической форме;

− возможность изменения параметров настройки регулятора, допустимых порогов и изменение регулируемой величины;

− сигнализация о нарушениях допустимых пределов;

− возможность исследования работы системы регулирования при наличии возмущающих воздействий.

В настоящее время осуществлена разработка и отладка программ регулирования и визуализации для АСУТП, выполненные на базе контроллеров «Кросс», «Кросс-500», «Трасса-500». Программы регулирования составлены в среде ISaGRAF на языках FBD и ST.

Внешний вид программы визуализации представлен на рис. 1.

На мнемосхеме в графическом и цифровом виде представлена информация о регулируемом параметре, параметрах настройки регулятора и величине задания. Предусмотрена возможность изменения величины задания, параметров регулятора и предельных значений, по которым реализуется сигнализация. При выходе регулированных па-

раметров за установленные пределы меняется цвет индикаторов, сигнализирующих о нарушении хода технологического процесса.

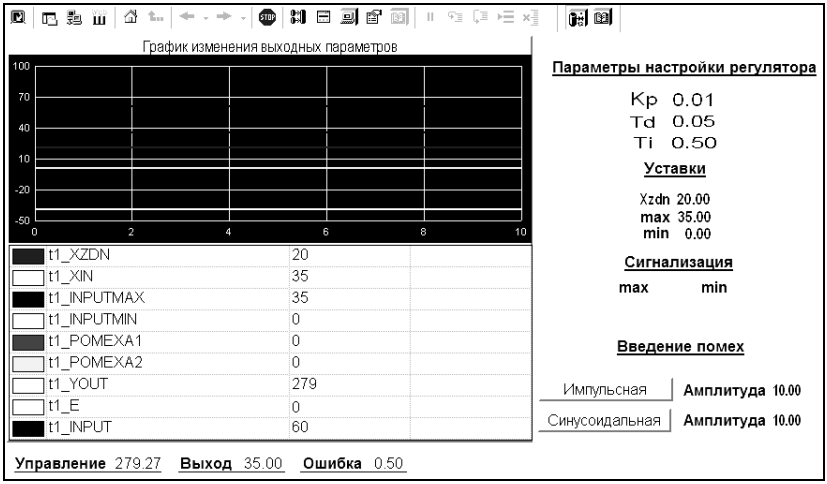


Рис. 1. Внешний вид программы визуализации регулирования

Проверка работоспособности созданной программы регулирования проводилась на трех лабораторных комплексах, выполненных на различных контроллерах. Данные комплексы состоят из контроллеров, аналогового вычислительных комплексов АВК-6, на базе которых осуществляется моделирование объекта управления и персональных компьютеров, представляющих операторские станции.

Использование результатов данной работы позволит студентам изучить отечественные промышленные контроллеры, ознакомиться с методикой программирования на различных языках программирования промышленных контроллеров, определенных международным стандартом IEC 1131-3, освоить OPC технологию построения АСУТП, а также изучить отечественный SCADA-пакет MasterSCADA, характеризующийся развитыми функциональными возможностями и удобствами реализации функции динамизации.

Особенность данного программно-методического обеспечения заключается в том, что при выполнении данного курсового проекта студенты получают не только теоретические знания, но и приобретают практические навыки создания программного обеспечения АСУТП.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТРЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ

А.В. Кулькова, студентка 5-го курса, каф. ЭМИС,
И.Г. Боровской, науч. рук., д.ф.-м.н., зав. каф. ЭМИС
г. Томск, ТУСУР, т. 8-923-406-65-83, alena-kulkova@sibmail.com

Сегодня все большее число организаций приходит к пониманию того, что без наличия своевременной и объективной информации о состоянии рынка, прогнозирования его перспектив, постоянной оценки эффективности функционирования собственных структур и анализа взаимоотношений с бизнес-партнерами и конкурентами их дальнейшее развитие становится практически невозможным. Поэтому неудивительно то внимание, которое сегодня уделяется средствам реализации и концепциям построения информационных систем, ориентированных на аналитическую обработку данных. И в первую очередь это касается систем управления базами данных (СУБД), основанными на многомерном подходе – МСУБД – так называемые «постреляционные» СУБД. Таким образом, целью данной работы является выявление необходимости перехода от реляционных баз данных (БД) к постреляционным.

Классическая реляционная модель предполагает неделимость данных, хранящихся в полях записей таблиц. Существует ряд случаев, когда это ограничение мешает эффективной реализации приложений [1].

Постреляционные базы данных, основанные на многомерном подходе представления данных, снимают ограничение неделимости данных, хранящихся в записях таблиц. Многомерность модели данных означает не многомерность визуализации цифровых данных, а многомерное логическое представление структуры информации при описании и в операциях манипулирования данными. Информация представляется в виде многомерных объектов (гиперкубов). Пользователю и в этих случаях более удобно иметь дело с двухмерными таблицами или графиками. Данные при этом представляют собой «срезы» из многомерного хранилища данных, выполненные с разной степенью детализации. Таким образом, СУБД, основанные на данной модели, являются узкоспециализированными, предназначенными для интерактивной аналитической обработки информации.

Основным достоинством многомерной модели данных являются удобство и эффективность аналитической обработки больших объемов данных, связанных со временем. При организации обработки аналогичных данных на основе реляционной модели происходит нелинейный рост трудоемкости операций в зависимости от размерности БД и существенное увеличение затрат оперативной памяти на индексацию.

Недостатком многомерной модели данных является ее громоздкость для простейших задач обычной оперативной обработки информации.

Примерами систем, поддерживающих многомерные модели данных, являются Essbase (Arbor Software), Media Multi-matrix (Speedware), Oracle Express Server (Oracle) и Cache (InterSystems). Архитектура Caché имеет следующий вид, представленный на рис. 1, где изображены основные элементы архитектуры СУБД Cache': платформы, на которых работает Cache', многомерный сервер данных, три способа доступа к данным, язык описания бизнес-логики Cache' ObjectScript, интерфейсы к средствам проектирования и разработки приложений и Web-технология Cache' Server Pages.

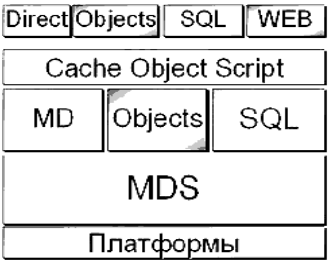


Рис. 1. Архитектура постреляционной СУБД Cache

Ядро системы – сервер многомерных данных (Multidimensional Data Server – MDS), реализованный с использованием концепции многомерных разреженных массивов. Эти массивы позволяют естественным образом хранить в Cache' и обрабатывать данные произвольной сложности.

К данным, хранящимся в MDS, одновременно возможно отнести три способа доступа:

- прямой доступ к данным (Cache' Direct Access), обеспечивающий максимальную производительность и полный контроль со стороны программиста;
- реляционный доступ (Cache' SQL), обеспечивающий максимальную производительность реляционных приложений, с использованием встроенного SQL для выполнения операций выборки и анализа данных;
- объектный доступ (Cache' Objects) для максимальной продуктивности разработки при использовании Java, C++, а также VB и других ActiveX-совместимых средств разработки, таких как PowerBuilder и Delphi. Такие многомерные способы доступа по производительности в десятки раз превосходят реляционные.

Для реализации бизнес-логики БД в СУБД Cache' используется Cache' Object Script, который поддерживает прямой, объектный и SQL-доступ к СУБД.

Cache' – кроссплатформенная система. Cache' поддерживает следующие операционные системы: всю линейку Windows, Linux, основные реализации Unix и Open VMS, Apache, Netscape [1–3].

В заключение хотелось бы отметить, что в настоящее время основным предметом критики реляционных СУБД является не их недостаточная эффективность, а присущая этим системам некоторая ограниченность в проектировании достаточно сложных структур данных. Еще одним часто отмечаемым недостатком реляционных баз данных является невозможность адекватного отражения семантики предметной области. Другими словами, возможности представления знаний о семантической специфике предметной области в реляционных системах очень ограничены. Современные исследования в области постреляционных систем главным образом посвящены именно устранению этих недостатков. Постреляционная технология не ограничена двумерными таблицами и поэтому лучше отображает сложные структуры реального мира. Применение постреляционных БД связано с обработкой больших объемов информации (анализ хозяйственной деятельности, продажи, закупки, кадровый анализ, подготовка финансовой отчетности, маркетинг, составление бюджета и т.д.). Кроме того, достоинством использования постреляционных БД является скорость обработки информации по сравнению с реляционными СУБД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов Д., Чернышев А. Опыт разработки в среде Cache'. М., 2002.
2. Федоров В. Постреляционная СУБД Cache'. М., 2007.
3. Кирстен В., Ирингер М. СУБД Cache. М., 2003.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС ПРОЦЕССОВ

Д.И. Кузнецов, студент 4-го курса,
М.Ю. Катаев, науч. рук., проф. каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР, tio@kvadro.net

Целью любого предприятия является максимизация эффективности его работы в различных условиях его функционирования (например, период кризиса). Для того чтобы глава предприятия мог управлять бизнес-процессами, необходимо наглядное представление процессов. Но одного представления мало. Также должна присутствовать возможность регулирования параметров и структуры конкретных бизнес-процессов. Чтобы регулировать, необходимо рассчитать возможные ситуации и оценить потенциальные риски. Такие расчеты можно сделать при помощи имитационного моделирования. Система имитационного моделирования должна проводить анализ полученной моде-

ли процесса или набора процессов, сравнение с другими моделями и наглядный вывод результатов анализа и сравнения.

Программная система имитационного моделирования состоит из различных модулей, каждый из которых отвечает за свою функцию, что позволит легко модифицировать систему под нужды конкретного предприятия и, при необходимости, внесение изменений в конкретный блок. Состав: блок визуализации информации (построение различных типов графиков, отчетов), блок конвертации данных из системы генерации бизнес-процессов, архив готовых шаблонов, используемых при моделировании, блок моделирования (в него включены блок математического моделирования и блок анализа и расчетов всех необходимых данных). Для реализации блока визуализации предполагается использовать свободно распространяемые программные ресурсы. Для реализации блока моделирования и анализа используется механизм теории игр. Данная теория позволяет наиболее эффективно моделировать и оценивать экономически процессы, протекающие на предприятиях, в управлении которыми используются принципы процессного подхода.

При построении графиков система использует такие типы как круговая диаграмма, временная диаграмма и гистограмма. Эти типы включены по умолчанию. Так же, благодаря модульности, существуют широкие возможности для расширения путем добавления новых типов графиков и отчетов. Также в системе планируется реализовать систему генерации произвольных отчетов для наглядного представления полученной при моделировании информации и распечатки ее, для хранения в удобном виде.

В системе планируется ведение истории событий и создание контрольных точек, к которым, при необходимости, пользователь может вернуть не завершенные ранее бизнес-процессы. Данная функция через определенный период времени создает резервную копию данных, с которыми работает пользователь. Возможность резервирования также может вызваться пользователем.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАННЫХ ОТРАЖЕННОГО ОТ ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.К. Лукьянов, аспирант,
М.Ю. Катаев, науч. рук., проф. каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ, hyena116@mail.ru

В настоящее время существует обеспокоенность общества в связи с возможным глобальным потеплением климата. Одной из его причин является увеличение количества парниковых газов в атмосфере. В свя-

зи с этим важно установить источники выбросов парниковых газов и долю каждого источника, их концентрацию, поведение в атмосфере.

Замеры концентрации парниковых газов ведутся не везде, и картина плотности распределения их выбросов неполна. Исследование с помощью спутника позволит охватить практически весь земной шар.

Для определения концентрации газа используется исследование линий поглощения этого газа в спектре света Солнца, отраженного от поверхности Земли (рис. 1).

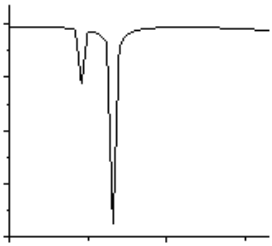


Рис. 1. Линии поглощения в спектре отраженного от поверхности солнечного света

Интенсивность света, принятого спутником, будет равна

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot K_{\text{рел}} + I(\lambda)_{\text{атм}},$$

где $I_0(\lambda)$ – интенсивность падающего на поверхность света; $\rho(\lambda)$ – доля отраженного от поверхности света; $T(\lambda)$ – пропускание; $K_{\text{рел}}$ – коэффициент зависимости от рельефа поверхности; $I(\lambda)_{\text{атм}}$ – интенсивность света, рассеянного в атмосфере.

Пропускание рассчитывается по формуле

$$T(\lambda) = \exp\left(-\int_{H_0}^{H} (\alpha_{\text{газа}}(\lambda, h) + \alpha_{\text{атм}}(\lambda, h))dh\right),$$

где $\alpha_{\text{газа}}(\lambda, h)$ – ослабление за счет поглощения газами; $\alpha_{\text{атм}}(\lambda, h)$ – ослабление за счет аэрозоля атмосферы.

Расчет интенсивности света, принятого спутником, при знании профилей концентрации газов является непростой задачей, не говоря уже о расчете самих профилей по сигналу спутника. На результат влияет множество факторов: положение Солнца, тип поверхности, рельеф местности, время года, наличие аэрозоля. Для расчета требуется обращение к большому количеству исходных данных (базы, содержащие сведения о рельефе, погоде, наличие аэрозолей и т.п.).

На данный момент реализован программный комплекс, моделирующий спутниковый сигнал, регистрирующий отраженное солнечное излучение от поверхности. Планируется его существенное ускорение за счет распараллеливания алгоритма.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И CO_2

С.А. Новгородцев, студент 4-го курса, каф. АСУ,
М.Ю. Катаев, науч. рук., проф. каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР, slavka1988@sibmail.com

Для решения многих задач геофизики, моделирования и обработки спутниковых сигналов необходимо решать задачи, связанные с поиском структуры полей данных.

Для решения задачи кластеризации нами применяется алгоритм, похожий на методику k-средних (k-means clustering), который является быстрым и простым методом поиска однородных по свойствам объектов. Идея заключается в минимизации суммарного отклонения по каждому кластеру:

$$K_k = \sum_{i=1}^{Nx} \sum_{j=1}^{Ny} \left| T_{ij} - t_k \right|^2;$$

здесь T_{ij} – поле температур; t_k – центр кластера Nx, Ny – количество точек поля температуры.

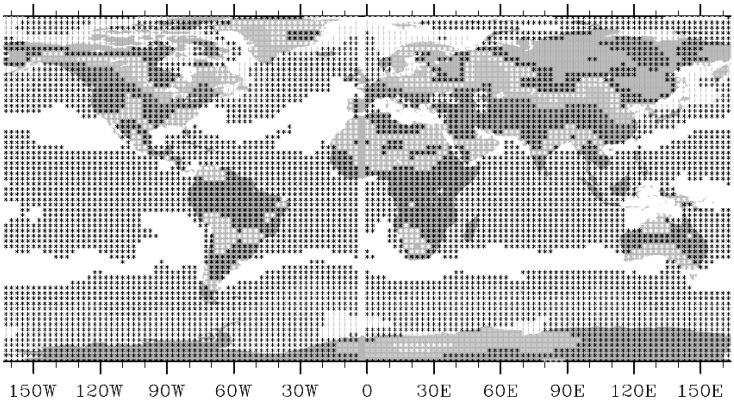


Рис. 1. Пример кластеризации поля температуры на всей поверхности Земли в приземном слое

У метода *k*-средних есть два серьезных недостатка. Необходимо заранее знать точное число кластеров, и качество результата сильно зависит от выбора начального разбиения (величины и шага). Нами на первом этапе этот алгоритм был применен для кластеризации полей температуры по всему глобусу. На рис. 1 показан пример такой кластеризации для 1 января 2003 г.

ИТЕРФЕЙС МОДУЛЯ ДОКУМЕНТООБОРОТА И МОНИТОРИНГА ПРЕДПРИЯТИЯ СИСТЕМЫ «ПАРАД-М»

П.А. Пяк, студент 4-го курса, каф. АСУ,
М.Ю. Катаев, науч. рук., проф. каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР, ФСУ, т. 8-906-955-53-87, ppa@sibmail.com

Нами разрабатывается программная система «ПАРАД-М» для приложения в экономике. Система «Парад-М» включает в себя 3 основных модуля. Два из них обеспечивают инструменты для моделирования и оптимизации технологического цикла предприятия на основе теории бизнес-процессов и теории игр. Последний, третий модуль, обеспечивает уже непосредственный мониторинг состояния предприятия в реальном времени, а также реализует в себе функции электронного документооборота.

Для эффективной работы администрации предприятия она должна получать своевременную, точную и наглядную информацию. При разработке основных принципов интерфейса данного модуля решались следующие задачи.

- **Простота и понятность**: система не требует длительного специального обучения персонала. Для работы в системе достаточно базовых навыков работы в ОС Windows и текстовых редакторах (для оформления документов).
- **Неперегруженность интерфейса**: для обеспечения простоты работы с системой, для пользователей с разным уровнем привилегий при загрузке динамически генерируется персональный интерфейс, содержащий только те инструменты и функции, которые необходимы для работы данному пользователю. Так, весь инструментарий, связанный с моделированием технологического цикла, доступен только высшим руководящим должностям, имеющим привилегии первого уровня, в клиентах всех прочих пользователей данных инструментов сгенерировано не будет.
- **Автоматизация и предпланирование**: при создании новых документов система автоматически заполняет те поля и данные, информация в которых является стандартной и регламентированной. Все прочие данные могут быть вписаны как средствами встроенного редактора, так и с использованием специальных визардов (специальных интерфейсов, облегчающих заполнение документов). Кроме того, автоматизированы также некоторые функции менеджеров. Например, при создании нового технологического цикла система автоматически распределяет работу по наименее загруженным на данный момент работникам, после чего выводит сгенерированный вариант менеджеру

для утверждения либо редактирования. При этом экономится время руководящих должностей на выполнении рутинной работы, хорошо поддающейся алгоритмизации.

• **Наглядность**: система основана на принципах процессно-ориентированного управления предприятием. Модель данных системы имеет 3-мерную структуру: процесс–человек–время. Для наглядного представления этой структуры для человека была выбрана модель (рис. 1), представляющая собой 2-мерный срез одной из плоскостей внутренних данных, причем пользователь имеет возможность просматривать любые из срезов по своему желанию: «человек–вермя», «процесс–вермя», «человек–процесс». При этом могут быть получены исчерпывающие данные по состоянию всех процессов предприятия, а также ответственным сотрудникам в случае возникновения задержек и сбоев.

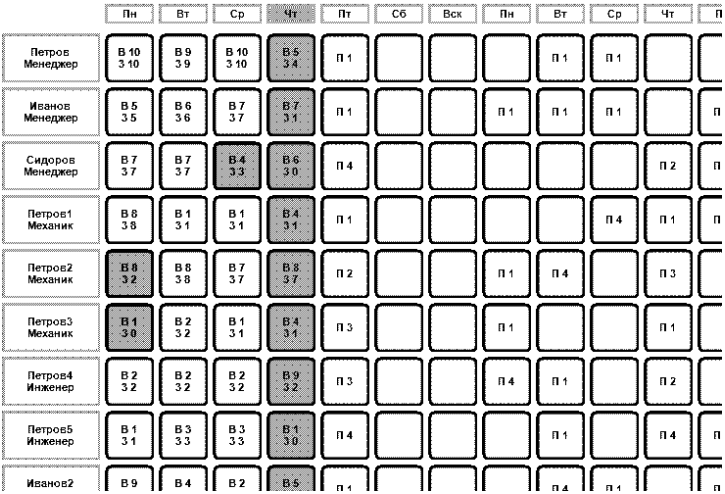


Рис. 1

Все срезы представляются в единой модели интерфейса, состоящей из решетки, по осям которой располагаются выбранные плоскости (люди, время или процессы), а элементами являются объекты, содержащие в себе все данные, связанные с двумя выбранными сущностями. Например, если выбран срез «человек–время», то ячейка будет содержать все документы и данные по работе, выполненной данным человеком в данный рабочий день или за указанный промежуток времени. Так как руководителя чаще всего интересуют проблемы и сбои

в работе предприятия, в целях их устранения все ячейки окрашиваются в специальные цвета (например, ячейки, в которых присутствуют проблемы, окрашиваются в красный цвет). Так руководитель сразу может определить, в каких процессах технологического цикла происходят сбои, и увидеть ответственных за эти процессы служащих. При этом нет необходимости анализировать большие объемы текстовых и числовых данных.

Помимо этого, можно получать и суммарные показатели по предприятию, которые ранее были включены в проект при работе с модулем моделирования технологического цикла. Также можно получить данные о том, сколько документов было создано в данном процессе и сколько должно быть создано всеми работниками, и т.д.

ОБРАБОТКА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДАМИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАНДАРТА GEOTIFF

Е.Ю. Разгайлова, Т.В. Евсюткин,
студенты 5-го и 3-го курсов, каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР, Steim@sibmail.com

Во многих областях современной науки применяются данные, полученные при помощи спутниковых наблюдений за поверхностью Земли. Эти данные представляют собой цветные изображения больших разрешений. Существуют различные методы их обработки с целью извлечения необходимой исследователю информации. Постоянное увеличение технических возможностей современных вычислительных средств дает возможность совершенствовать методы обработки изображений.

Один из основных приемов обработки изображений – распознавание кластеров изображений по цветовому подобию. Существует большое число методов кластеризации. Применительно к обработке спутниковых изображений наиболее популярными являются алгоритм декомпозиции гистограмм, алгоритм построения гиперсфер и алгоритм «ИЗОДАТА».

Цель данной работы – разработка программного комплекса, реализующего статистические методы кластеризации для выделения участков изображений с учетом их местоположения на карте земной поверхности.

В общем случае кластеризация [1] – общее название множества вычислительных процедур, используемых при создании классификации объектов. В результате кластеризации образуются «кластеры» (ре-

гионы, области) – группы похожих по различным характеристикам объектов. Исходные данные для процедуры кластеризации [1] – набор объектов, каждый из которых задается вектором своих характеристик. В ходе процедуры кластеризации происходит объединение «подобных» объектов в отдельные классы. Результатом кластеризации является набор классов, содержащих однородные объекты [1–3].

Таким образом, применение кластерного анализа может быть использовано при сегментации спутниковых изображений.

Для географической привязки выделяемых объектов на картах земной поверхности используется технология GeoTIFF, которая основана на широко распространенном формате хранения растровых изображений TIFF. Она позволяет построить полную картографическую привязку, ассоциирующуюся с TIFF – представлением изображения, получаемого со спутника.

В рамках данного проекта создана программа, осуществляющая сегментацию спутниковых данных на основе кластерного анализа с оценкой эффективности методов. Реализованы фильтры для устранения шума на изображении и выделения контуров образованных в результате кластеризации областей. Разработан модуль для работы с файлами формата GeoTIFF.

Следует заметить, что в случае решения задачи кластеризации изображения задан набор пикселей, каждый из которых определяется тремя цветовыми компонентами в пространстве RGB. Процедуры кластеризации осуществляют выделение групп пикселей, имеющих наиболее «близкие» цветовые компоненты.

При реализации алгоритмов фильтрации изображения в качестве исходных данных используется яркость каждого пикселя, которая является линейной функцией от цветовых компонентов *R*, *G*, *B*:

$$Y = 0{,}299 * R + 0{,}587 * G + 0{,}114 * B.$$

На рисунках представлен пример изображения до (рис. 1) и после (рис. 2) работы кластеризации.

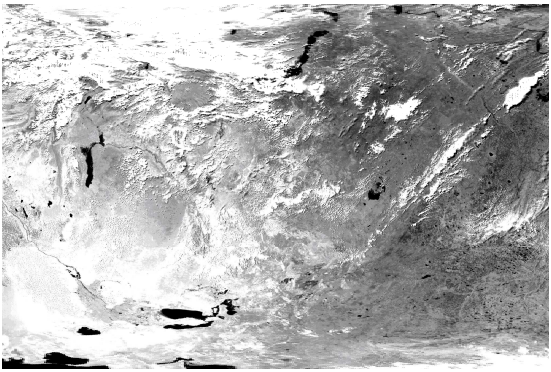


Рис. 1. Исходное изображение

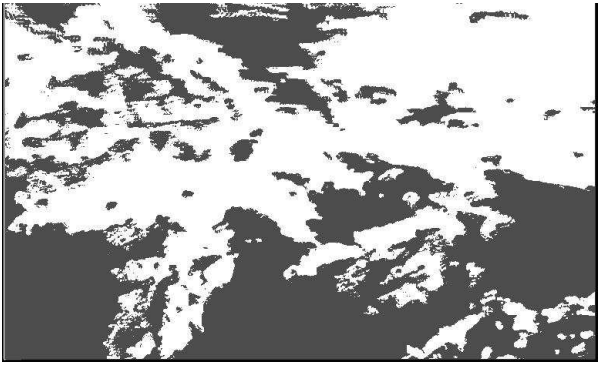


Рис. 2. Изображение, кластеризованное методом построения гиперсфер с выделением двух кластеров

В статье рассматриваются способы нахождения объектов с применением статистических методов кластеризации для распознавания однородных областей (регионов) цветных изображений, определение визуальной эффективности качества кластеризации, определение расположения точек сегментированного изображения на карте мира с использованием технологии GeoTIFF.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ким Д.О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.

2. Вовк О.Л. Поиск изображений в электронных коллекциях на основе регионального разбиения // САИТ-2003. Киев, 2003, с. 144–145.

3. Классификация и кластер // Под ред. Д.В. Райзина. М.: Мир, 1980. 393 с.

ПОСТРОЕНИЕ КУБА ИНТЕРЕСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В OLAP-СИСТЕМАХ

С.Ю. Семченков, ассистент каф. теоретической и прикладной механики

Рязанский государственный радиотехнический университет, amfibius@mail.ru

OLAP (On-Line Analytical Processing – интерактивная аналитическая обработка данных) – один из способов добычи и анализа данных, при котором информация, собранная для автоматизированной обработки, представляется в виде многомерного куба с возможностью произвольного манипулирования ею.

Пространство интересов пользователя OLAP-системы можно представить с помощью концептуальной иерархии потребностей [1], которая представляет собой множество понятий, упорядоченных с помощью древовидной структуры. Для описания конкретного интереса пользователя необходимо указать измерение многомерного куба, конкретное значение этого измерения, а также показатель многомерного куба. Концептуальная иерархия потребностей может быть представлена в виде многомерного куба интересов. Примеры концептуальной иерархии потребностей и соответствующего ей многомерного куба интересов приведены на рис. 1.

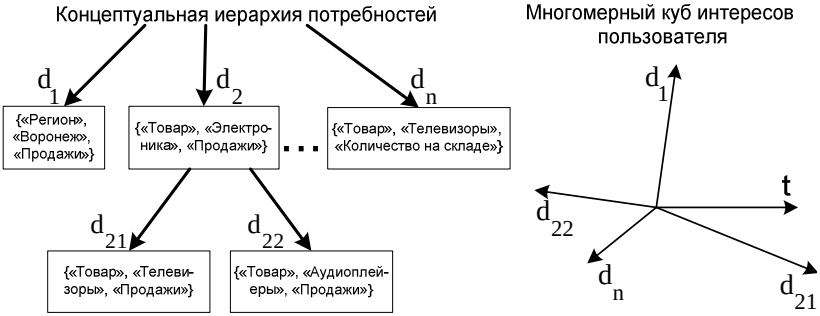


Рис. 1. Примеры концептуальной иерархии потребностей и многомерного куба интересов

Измерениями многомерного куба интересов служат понятия, являющиеся терминальными вершинами в концептуальной иерархии потребностей пользователя, а также дополнительное временное измерение. Если концептуальная иерархия потребностей содержит n терминальных вершин, то многомерный куб интересов пользователя будет содержать $n + 1$ измерение. Измерения интересов пользователя содержат одно значение, а именно ранг потребности. Показателем многомерного куба интересов является количество переходов пользователя к конкретной потребности. Переход может осуществляться посредством многократного выполнения операций детализации или агрегации до достижения интересующей пользователя потребности или фиксации потребности на одной из осей многомерного куба с целью получения необходимого пользователю среза. Интересы каждого пользователя представляются в виде динамически изменяющегося во времени n-мерного куба. Для каждого интересующего пользователя понятия можно определить функцию потребности k-го пользователя $g_k(t,d_i)$ как ранг интереса, изменяющийся во времени. Аргументами

функции потребности являются конкретный момент времени T и интересующая пользователя потребность, соответствующая терминальной вершине концептуальной иерархии потребностей. Рассматривая функцию потребности во времени, для каждого k-го пользователя можно составить подпространство интересов, состоящее из функций отклонений интересов пользователя от среднего значения:

$$ISS_k = \{ f_k(t, D_1), f_k(t, D_2), ..., f_k(t, D_i), ... \},$$

где ISS (interest sub-space) – подпространство интересов k-го пользователя; $f_k(t, D_i)$ – функция отклонения интересов пользователя от среднего значения. Задавая минимальный порог среднего значения, можно определить реальные интересы пользователя, отбросив измерения со средним значением интереса меньше заданного. Тем самым исключаются случайные и ошибочные интересы, которые могут возникнуть при исследовании пользователем многомерного куба.

В результате построения модели интересов пользователя OLAP-систем можно для каждого пользователя сформировать соответствующий интересам этого пользователя многомерный куб. Это можно сделать с помощью операции ограничения (выборки), которая выделяет подмножество из исходного многомерного куба, проекции и композиции многомерных кубов.

Если в результате получения k-мерного куба интересов пользователя какое-либо измерение содержит единственное значение, то это измерение может быть удалено, так как оставшиеся $k - 1$ измерения однозначным образом определяют уникальный куб. Уменьшение пространства поиска можно также достичь с помощью операции проекции. В этом случае происходит удаление одного измерения, на которое осуществляется проекция, и одновременное агрегирование показателей по оставшимся измерениям.

Операция композиции многомерных кубов может быть применена только к многомерным кубам, имеющим однотипную структуру, т.е. одинаковые измерения (пересечение множеств значений измерений объединяемых кубов может быть непустым множеством), одинаковые уровни и атрибуты измерений, одинаковые показатели. Пусть заданы k многомерных кубов $C_1, C_2, \ldots, C_n$, которые требуется объединить в один куб C. Множество измерений $\{D_1, D_2, \ldots, D_k\}$ и множество уровней измерений $\{DL_1, DL_2, \ldots, DL_k\}$ будут одинаковыми для всех кубов $C_1, C_2, \ldots, C_k$. Пусть $V_1 = \{v_{11}^1, v_{11}^2, ..., v_{12}^1, v_{12}^2, ..., v_{1k}^1, v_{1k}^2, ...\}$ – множество значений всех измерений первого куба; $V_2 = \{v_{21}^1, v_{21}^2, ..., v_{22}^1, v_{22}^2, ..., v_{2k}^1, v_{2k}^2, ...\}$ – множество значений всех измерений второго куба и т.д.

$V_n = \{v_{n1}^1, v_{n1}^2, ..., v_{n2}^1, v_{n2}^2, ..., v_{nk}^1, v_{nk}^2, ...\}$ – множество значений всех измерений n-го куба.

В этих множествах первый нижний индекс при v – номер многомерного куба, второй нижний индекс – номер измерения в этом кубе, верхний индекс – номер значения в измерении. Куб C, являющийся композицией k многомерных кубов, будет состоять из тех же самых измерений $D_1, D_2, \ldots, D_k$ и уровней измерений $DL_1, DL_2, \ldots, DL_k$. Множество значений измерений куба C можно определить как объединение значений кубов $C_1, C_2, \ldots, C_k$ по каждому из измерений, а именно:

$$U_1 = \{v_{11}^1, v_{11}^2, ...\} \cup \{v_{21}^1, v_{21}^2, ...\} \cup ... \cup \{v_{n1}^1, v_{n1}^2, ...\},$$

$$U_2 = \{v_{12}^1, v_{12}^2, ...\} \cup \{v_{22}^1, v_{22}^2, ...\} \cup ... \cup \{v_{n2}^1, v_{n2}^2, ...\} \text{ и т.д.}$$

$$U_k = \{v_{1k}^1, v_{1k}^2, ...\} \cup \{v_{2k}^1, v_{2k}^2, ...\} \cup ... \cup \{v_{nk}^1, v_{nk}^2, ...\}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Cheng Zeng, Hui Wang, Haiping Cao, Ying Zhang. An Unified User Dynamic Interest Description Model. The 16th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, Czech Republic, February 4–7, 2008.

ОБРАБОТКА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ СПЕКТРОРАДИОМЕТРА MODIS

А.В. Скороходов, студент 5-го курса, каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР, vazime@yandex.ru

Применение нейронных сетей для решения задач классификации позволяет избежать сложных и громоздких расчетов при оперировании большими объемами многомерных данных. При решении задачи классификации с помощью нейронной сети необходимо выбрать подходящий тип сети и провести ее обучение с использованием набора обучающих данных. Одно из основных свойств нейронной сети заключается в ее способности к обобщению данных. Правильно и хорошо обученная сеть способна генерировать решения, сходящиеся к решениям, получаемым на основе других подходов.

Методика использования нейронных сетей. В данной работе была выбрана модель нейрона типа WTA (англ. Winner Takes All – победитель получает все). Нейроны данного типа имеют входной модуль в виде стандартного сумматора, рассчитывающего сумму входных сигналов с соответствующими весами w_{ij}. Выходной сигнал i-го сумматора определяется согласно формуле $u_i = \sum_{j=0}^{N} w_{ij} x_j$.

Группа конкурирующих между собой нейронов (рис. 1) получает одни и те же входные сигналы x_j. В зависимости от фактических значений весовых коэффициентов суммарные сигналы u_i отдельных нейронов могут различаться. По результатам сравнения этих сигналов победителем признается нейрон, значение u_i у которого оказалось наибольшим. Нейрон победитель вырабатывает на своем выходе состояние 1, а остальные (проигравшие) нейроны переходят в состояние 0.

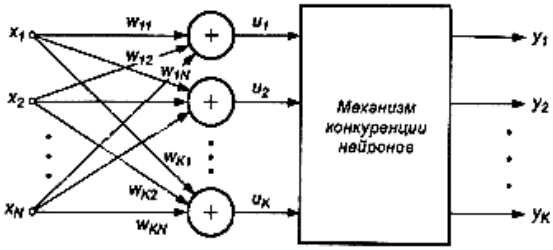


Рис. 1. Схема соединения нейронов тип WTA

Для обучения нейронов типа WTA не требуется учитель, оно протекает с использованием нормализованных входных векторов *x*. На начальном этапе случайным образом выбираются весовые коэффициенты каждого нейрона, нормализуемые относительно 1. После подачи первого входного вектора *x* определяется победитель этапа. Победивший в этом соревновании нейрон переходит в состояние 1, что позволяет ему провести уточнение весов его входных линий w_{ij} по упрощенному правилу Гроссберга:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta[x_j - w_{ij}(t)],$$

где η – коэффициент обучения.

Следствием такой конкуренции становится процесс самоорганизации процесса обучения. Нейроны уточняют свои веса таким образом, что при предъявлении группы близких по значению входных векторов победителем оказывается всегда один и тот же нейрон. В процессе функционирования именно этот нейрон, благодаря соперничеству, распознает свою категорию входных данных [1].

В программе BMViewer нейронная сеть имеет вид, представленный на рис. 2.

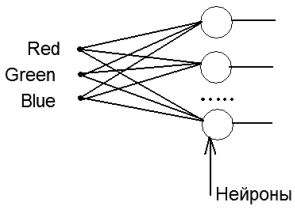


Рис. 2. Модель нейронной сети в программе BMViewer

Из рис. 2 видно, что на вход нейронной сети подаются цветовые составляющие пикселей (BMP формат), а в качестве нейронов выступают классы (образы), цветовые составляющие которых в процессе обучения нейронная сеть определит (рис. 3, 4).

В качестве входного вектора можно использовать и вектор с набором значений текстурных признаков, которые позволяют учитывать не только цветовые характеристики изображения, но и текстуру, что в результате приводит к более эффективной сегментации.

Важной проблемой является активация всех нейронов сети. Такую активацию можно осуществить, если в алгоритме обучения предусмотреть учет количества побед каждого нейрона, процесс обучения организовать так, чтобы дать шанс победить и менее активным нейронам. Такой способ учета активности нейронов называется механизмом утомления.

Обучение заканчивается тем, что группы входных пикселей разбиты на нейроны и требуется каждый пиксель отнести к тому или иному нейрону. Одним из способов сопоставления входных пикселей и полученных нейронов является определение минимальной меры расстояния между векторами.

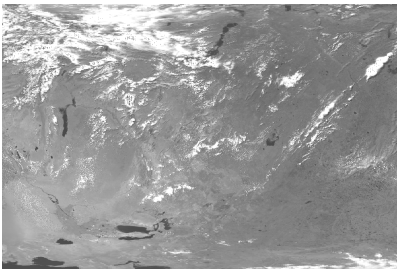


Рис. 3. Исходное изображение

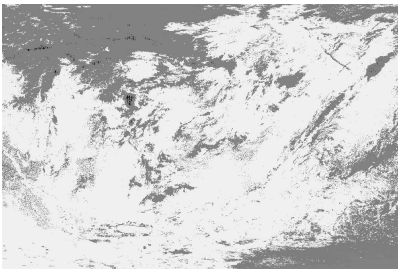


Рис. 4. Изображение разбито на 4 класса

В программе BMViewer в качестве меры расстояния выбрана эвклидова мера

$$d(\vec{x},\vec{w}_i)=\|\vec{x}-\vec{w}_i\|=\sqrt{\sum_{j=1}^{N}(x_j-w_{ij})^2}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Оссовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польск. И.Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ WINDOWS-ПРИЛОЖЕНИЕМ

А.С. Шпока, студент 2-го курса магистратуры, каф. ЭМИС
г. Томск, ТУСУР, т. 8-903-952-61-35, npOnoBegHuk@rambler.ru

В последнее время в среде Windows-приложений большое распространение получили программы с пользовательским интерфейсом, который позволяет производить различные манипуляции с данными, которыми работает эта программа, например заполнение форм, выполнение запросов и многие другие.

Большинство приложений не обладают возможностью постоянного управления. С целью автоматизации действий в программе и экономии времени было разработано приложение AppCommander, возможностью которого является задание алгоритмов манипуляции элементами приложения. Например: нажатие кнопки, заполнение полей, считывание информации из полей, а также циклические конструкции.

Сложность процесса автоматизации заключается в том, что в операционной системе Windows адресное пространство, поделенное между приложениями, не пересекается, т.е. одно приложение не имеет права напрямую обращаться к адресному пространству, отведенному другому приложению. Эта проблема решается с помощью установки на управляемое приложение «ловушек» с помощью предусмотренной функции SetWindowsHookEx.

На разработанном приложении AppCommander, предусмотрено создание сценариев действий. Для написания сценария используется разработанный язык представления команд, который дает возможность управлять приложением по заранее спланированной программе.

Для запуска сценария необходимо загрузить файл, содержащий сценарный код. Автором разработан интерпретируемый язык исполнения сценариев без привязки к конкретным приложениям, что дает возможность использования предлагаемой методики с Windows-приложением.

С целью облегчения написания сценарного файла в программе предусмотрен набор элементов управления, позволяющих упростить пользователю процесс написания сценария.

Чтобы написать какой-либо сценарий, необходимо выбрать запущенный экземпляр приложения, затем выбрать элемент этого приложения и действие, которое необходимо проделать. После осуществления изложенных действий программа может выполнить последовательность действий и пользователь может приступить к управлению элементами приложения.

Программа позволяет эффективно выполнять часто повторяющиеся действия, например многократное нажатие кнопки, что для обычного пользователя может стать весьма трудной задачей. Также имеется возможность запуска последовательности действий в определенное время, что может дать определенному кругу пользователей существенное преимущество над другими, т.к. у них появляется возможность опережения.

Разработанная программа может получить широкое распространение, так как она позволяет выполнять заранее написанные сценарные действия, что дает возможность пользователям сэкономить время при выполнении повседневных долгих процедур в определенных приложениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Липпман С.Б. Основы программирования на С++. М., 2002. 256 с.
2. MSDN MS.MSDNQTR.2003APR.1033/winui/winui/windowsuserinterface /windowing/hooks/hookreference/hookfunctions/setwindowshookex.htm

ГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Р.И. Уколов, студент 4-го курса, каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР, ФСУ, рус9i@sibmail.com

Данная система – это инструмент для моделирования, анализа, документирования и оптимизации бизнес-процессов. Она помогает быстро создавать и анализировать модели с целью оптимизации деловых и производственных процессов. Ее можно использовать для графического представления бизнес-процессов. Графически представленная схема выполнения работ, обмена информацией, документооборота визуализирует модель бизнес-процесса. Графическое изложение этой информации позволяет перевести задачи управления организацией из области сложного ремесла в сферу инженерных технологий.

С ее помощью пользователь будет иметь возможность оптимизировать и изменять технологический цикл на уровне процессов. Посредством набора графических инструментов для отображения действий и объектов данная система позволяет легко построить схему процесса, на которой показаны исходные данные, результаты операций, ресурсы, необходимые для их выполнения, управляющие воздействия, взаимные связи между отдельными работами. Однако для облегчения работы проектировщика часть данных может быть получена из системы 1С с помощью специального драйвера, если таковая применялась на предприятии.

Интуитивно-понятный графический интерфейс, который быстро и легко осваивается, позволяет сосредоточиться на анализе самой предметной области, не отвлекаясь на изучение инструментальных средств. Интерактивное выделение объектов обеспечивает постоянную визуальную обратную связь при построении модели. Система автоматически поддерживает ссылочную целостность объектов модели, не допуская создания некорректных связей и гарантируя непротиворечивость отношений между объектами при моделировании (рис. 1).

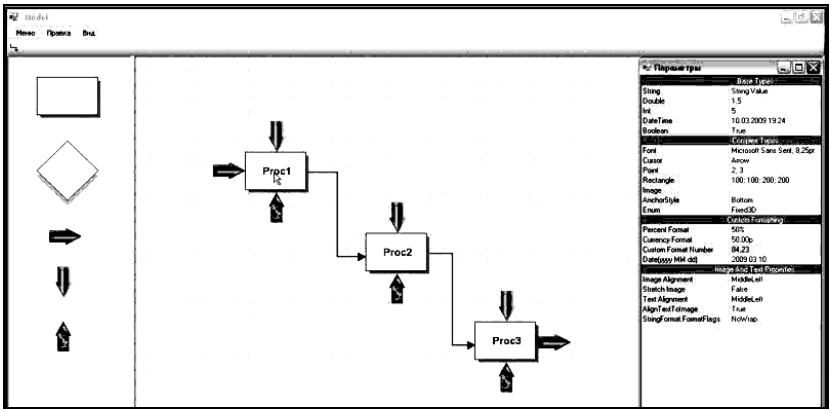


Рис. 1. Внешний интерфейс программы

Сформированная модель технологического цикла в дальнейшем может быть использована для анализа показателей затрат и производительности предприятия. Обладая набором стандартных шаблонов отображения данных, система рассчитана на добавление новых представлений в виде внешних модулей.

Система предназначена для руководителей предприятий, желающих оптимизировать работу своего предприятия, повысить прибыль, понизить затраты времени или расходуемых ресурсов.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА ВУЗА НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ «УНИВЕРСИТЕТ» КОМПАНИИ REDLAB

М.В. Григорьева, доцент каф. АСУ,
А.А. Лощинова, О.С. Жеребцова, студентки 4-го курса ФСУ
г. Томск, ТУСУР, т. 8-913-884-90-03, 445-LAA@mail.ru

Изменение системы бюджетной поддержки вузов и наделение их существенной самостоятельностью поставило руководство вузов перед

необходимостью выработки и построения нового механизма управления, позволяющего осуществлять деятельность государственных вузов как полноправных субъектов рыночных отношений. В обстановке, когда вузы должны значительную долю средств зарабатывать самостоятельно, использование управленческого учета является необходимым условием для эффективности их финансово-хозяйственной деятельности.

Для решения проблемы автоматизации управленческого учета можно выбрать один из двух путей. Первый предусматривает самостоятельную разработку информационной системы, удовлетворяющую поставленным целям и задачам. Второй вариант – приобретение и внедрение уже готовой системы.

Сегодня на российском рынке программного обеспечения предложена только одна готовая система, которая разработана компанией RedLab, – «Университет».

Автоматизированная информационная система «Университет» представляет собой комплекс программ, объединенных в единую информационную среду и позволяющих автоматизировать процессы, связанные с управлением деятельностью вуза [4, 5]. Гибкие механизмы анализа данных позволяют осуществлять мониторинг качества организации учебного процесса, качества подготовки специалистов, научной деятельности, эффективности системы управления. Автоматизированная информация система «Университет» построена на основе технологии клиент–сервер. В качестве СУБД используется Microsoft SQL Server 2000.

Реализованная в системе концепция однократного ввода данных позволяет избежать дублирования данных и организовать их централизованное хранение и обработку.

Благодаря наличию единого электронного хранилища данных, система эффективно поддерживает многопользовательский режим работы в сетевой среде.

Система «Университет» обладает следующими функциональными возможностями:

1) управление учебным процессом;

2) автоматизация документооборота;

3) автоматизация бухгалтерского учета;

4) управление финансами (аналитический учет доходов и расходов, бюджетирование, анализ);

5) управление персоналом;

6) формирование оперативной и внешней отчетности.

Успешное внедрение некоторых модулей этой системы было проведено в ряде российских вузов.

Внедрение системы «Университет» на экономическом факультете МГУ началось в январе 2005 г. Факультет уже начал продуктивную эксплуатацию пяти подсистем: «Управление персоналом», «Организационный менеджмент», «Бухгалтерский учет и финансовый контроль», «Учет труда и заработной платы», «Управление учебным процессом» [2].

Одним из важных результатов внедрения системы на факультете явилось создание единого информационного пространства, необходимого для эффективного взаимодействия всех подразделений факультета, и обеспечение руководства своевременной и точной информацией.

На факультете ВМиК МГУ были введены в эксплуатацию модули «Бухгалтерия и финансы», «Управление персоналом» и «Управление учебным процессом».

В результате первой очереди работ была создана единая база данных факультета, обеспечен однократный ввод информации, созданы инструментарий организации учебного процесса и доступ к аналитической отчетности с разных рабочих мест, внедрены единый документооборот и защищенная почтовая служба, введена единая стратегия резервного копирования информации.

В ноябре 2005 г. компания RedLab и Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина подписали договор о внедрении информационно-аналитической системы «Университет». В 2006 г. в рамках реализации первого этапа проекта автоматизации вуза были введены в эксплуатацию подсистемы «Управление персоналом и организационный менеджмент» и «Документооборот» [1].

В Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете уже внедрены подсистемы «Управление персоналом и организационный менеджмент» и «Управление инновационным учебным процессом», которые были разработаны на основе системы «Университет», что является частью в создании современной системы управления в СПбГЭТУ [3].

В Уральском государственном университете были настроены и сданы для продуктивной эксплуатации четыре функциональные подсистемы «Управление персоналом и организационный менеджмент», «Учет труда и заработной платы», «Бухгалтерский учет и финансовый контроль» и «Управление учебным процессом» в части ведения данных о студентах и расчета стипендий [6].

Таким образом, хотелось бы отметить, что система «Университет» успешно решает поставленные управленческие задачи благодаря ряду преимуществ: надежность и защищенность системы, быстродействие и функциональность, открытая архитектура и возможность взаимодействия с другими системами, но, помимо всех изложенных преимуществ,

имеет ряд недостатков. Во-первых, она является дорогостоящей. Во-вторых, сложна в адаптации, так как требует изменения организационной структуры вуза. И, кроме того, для внедрения и поддержки подобной системы предполагается создание специального подразделения, что требует значительных материальных и временных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. РГУ нефти и газа им. Губкина начинает внедрение системы «Университет» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://soft.compulenta.ru/242323/

2. Экономический факультет МГУ выбрал систему управления вузом «Университет» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://business.compulenta.ru/51388/

3. Всероссийская научно-методическая конференция «Телематика 2002», Санкт-Петербург [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://tm.ifmo.ru/tm2002/db/doc/get_thes.php?id=279

4. Автоматизированная информационная система «Университет» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ais.stavsu.ru/?IdSec=11

5. «Университет» для университета – REDCENTER [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.redcenter.ru/?did=1572

6. В Уральском государственном университете досрочно завершен первый этап работ по внедрению системы «Университет» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.redlab.ru/doc/21312/index.html

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ CO_2 МЕТОДОМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

А.Г. Андреев, П.Е. Беляев, студенты 4-го курса,
М.Ю. Катаев, науч. рук., проф. каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ

Во многих приложениях науки и народного хозяйства возникают задачи, в которых необходимо использовать космические данные. Одной из волнующих проблем для всего человечества является потепление климата. Одним из источников, приводящих к потеплению, являются некоторые газы (например, CO_2, CH_4). Контроль этих и других газов в атмосфере Земли возможен только из космоса. В 2009 г. запущены спутники OCO (USA) и GOSAT (Japan), которые предназначены для мониторинга концентрации CO_2. Это подогревает интерес в разработке разнообразных способов интерпретации спутниковых сигналов.

Постановка задачи. Спутник, пролетая над поверхностью Земли, принимает отраженный солнечный свет (в ближней инфракрасной области спектра) и преобразует его в сигнал, $I(\lambda)$ который показан на рис. 1.

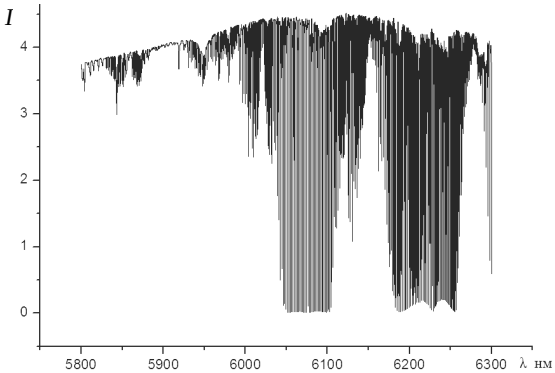


Рис. 1. Спутниковый сигнал

Из данного сигнала необходимо восстановить профиль концентрации углекислого газа – CO_2. Для этих целей уже разработано немало методов, например дифференциального поглощения, DOAS и др. Литературы, посвященной методу нейронных сетей, для обработки спутниковых сигналов, еще мало, и возникает постоянный интерес к тем или иным аспектам в применении этого подхода на практике.

Описание подхода. Искусственные нейронные сети (НС) – совокупность моделей биологических нейронных сетей. Представляют собой сеть элементов – искусственных нейронов, связанных между собой. Сеть обрабатывает входную информацию и в процессе изменения своего состояния во времени формирует совокупность выходных сигналов.

Основу каждой НС составляют относительно простые, в большинстве случаев – однотипные, элементы (нейроны) (рис. 2). Каждый нейрон обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона, с которой сигнал поступает на синапсы следующих нейронов. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом w_i.

Текущее состояние нейрона определяется как взвешенная сумма его входов. Нелинейная функция f называется активационной и может иметь различный вид.

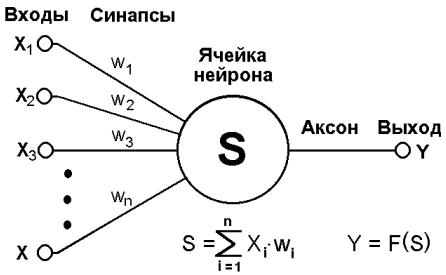


Рис. 2. Искусственный нейрон

Одной из наиболее распространенных является нелинейная функция с насыщением, так называемая логистическая функция, или сигмоид.

Одним из самых распространенных типов является персептрон (рис. 3). В персептроне нейроны располагаются по слоям, причем выходы нейронов предыдущего слоя соединены с входами нейронов последующего слоя. Между нейронами одного слоя связей нет.

Таким образом, для решения поставленной задачи предлагается на вход сети подавать сигнал, полученный на спутнике, а на выходе – получать профиль концентрации CO_2.

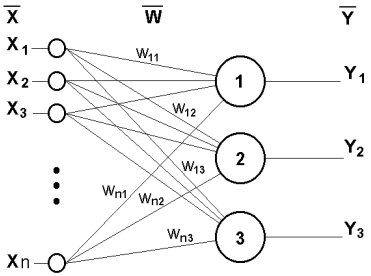


Рис. 3. Персептрон

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ IPTV- И ИНТЕРНЕТ-ВЕЩАНИЯ

Д.М. Кривенцов, студент 4-го курса, каф. АСУ,
М.Ю. Катаев, науч. рук., проф. каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР

Наша программа представляет собой многофункциональный комплекс для организации медиавещания с помощью сети Интернет. Данным программным продуктом пользователям (клиентам Интернет-провайдеров) предоставляется во-первых, удобная оболочка для просмотра IPTV-видео, набирающего популярность в последнее время; получения необходимой на каждый день информации в виде прогнозов погоды, рекламы, курсов валют и прочего, а во-вторых, для воспроизведения уже имеющихся у пользователя медиафайлов.

Использование данного программного продукта в связке «разработчик + провайдер» обеспечит наилучшее качество услуг, своевременную техподдержку клиентов, а также позволит организовать максимальное количество дополнительных сервисов и услуг.

Разрабатываемая программа представляет собой расширяемый комплекс с возможностью дальнейшего подключения различных функций, которые позволят пользователям использовать все новые и новые возможности, появляющиеся с развитием технологий Интернет-вещания.

Основной упор при создании этого продукта делался именно на растущие возможности глобальной сети и, в частности, развивающейся инфраструктуры в городах России.

В составе пакета middleware наша программа позволяет предлагать провайдерам IPTV-продукты с расширенными пользовательскими и рекламными сервисами. Поскольку рынок IPTV прошел этап взрывного роста, вопросы, связанные с конкуренцией качества, приобретают все большую актуальность. Внедрение подобных многофункциональных пакетов упрочняет позиции провайдера как на рынке IPTV, так и на рынке рекламных услуг. Соответственно спрос на middleware, позволяющие реализовать больший ассортимент пользовательских сервисов, имеет тенденцию к росту. Все перечисленное выше справедливо и для трансляции Web-TV. Выдвижение на рынок подобных пакетов в свою очередь упрочняет конкурентные позиции фирм-разработчиков. Разрабатываемая программа представляет собой комплекс, предоставляющий следующие базовые возможности:

- воспроизведение потокового видео, транслируемого по протоколу IPTV;
- сохранение видеопотока в предпочтительный для пользователя формат в виде отдельного видеофайла на носитель информации;
- воспроизведение ранее сохраненных видеофайлов или иных файлов с медиа содержимым (видео-, аудиоизображения и т.д.).

Помимо описанных выше средств, программа может предоставлять функции по выводу комбинированной (видеоизображения и текст) информации на экран. Данная возможность позволяет передавать пользователю различные сведения, транслирующиеся в реальном времени в сети Интернет (реклама, финансовые или метеорологические сводки и т.д.), субтитры, напоминания, телевизионная программа на определенный период времени и др.

Стоит описать наиболее важную, с точки зрения конечного пользователя, клиентскую часть программы. Исходя из основных возможностей, предоставляемых данным программным продуктом, необходимо отметить основные компоненты и их назначение:

Видеоплейер: несмотря на простое и достаточно привычное название, стоит заметить, что, помимо его обычного функционала в виде воспроизведения различных видеофайлов, данный компонент в разрабатываемом продукте также предусмотрен для вывода и иной графической либо текстовой информации. Это позволит сделать пользовательский интерфейс максимально гибким и приспособленным для любых манипуляций с его содержимым, в том числе и с выводимой на экран информацией, как-то: задание произвольных размеров, произвольная группировка элементов интерфейса или содержимого экрана,

одновременное и синхронное отображение нескольких видеопотоков, произвольное изменение параметров цветокоррекции, яркости, контрастности и т.д.

Соответственно будет необоснованно исключать из интерфейса данной части программы такой элемент, как панель управления воспроизведением и записью, содержащей в себе элементы, необходимые для максимально быстрого доступа ко всем наиболее часто используемым функциям и возможностям программы (не говоря уже о кнопках типа «Старт», «Пауза», «Стоп», «Запись видео» и др.):

1. Встроенная мини-СУБД, предназначенная для грамотной организации пользовательской «Видеотеки», состоящей из записанных ранее видеофайлов, планировки добавления в нее новых элементов в соответствии с имеющейся ТВ-программой.

2. Сетевой модуль, предоставляющий, по сути, основные конкурентные преимущества данного программного продукта. Функции сетевого модуля можно представить следующим образом:

• Обработка IPTV-потока. Это же и есть основная функция модуля, отвечающая за важную часть функционала всего видеоплейера. Полученный и декомпрессированный поток буферизуется по частям и готовится для непосредственного воспроизводства или записи.

• Получение различной информации, предоставляемой в сети Интернет в режиме реального времени: прогнозы погоды, курсы валют и т.д.

• Соединение с сервером провайдера для получения как видеоданных, так и ТВ-программ или иной служебной информации, необходимой для синхронизации (в том числе по времени и текущей трансляции) клиентской части программного продукта с серверной.

• Возможность использования небольшого и ограниченного по функционалу web-браузера (использующего для вывода различных web-страниц компоненты, предусмотренные как ОС Windows, так и библиотеки, поставляющиеся вместе со средой разработки) на платформе имеющейся программы.

• Также стоит отметить, что в первую очередь пользователю будет предоставлена возможность отключать ненужные ему элементы интерфейса (возможно, данная функция будет зависеть от формы приобретения программы) или настраивать их в соответствии со своими потребностями или желаниями.

Учитывая тенденции последних лет в области рынка мультимедийных продуктов, следует сказать, что во многих случаях именно простота и гибкость пользовательского интерфейса могут оказаться ключевым звеном в борьбе за потребителя. Исходя из этого, значительный акцент в разработке будет уделен именно данной области.

УЧЕТ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ СИГНАЛА ПАССИВНОГО САМОЛЕТНОГО МИКРОВОЛНОВГО РАДИОМЕТРА

А.В. Лончин, аспирант каф. АСУ,
М.Ю. Катаев, науч. рук., проф. каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР

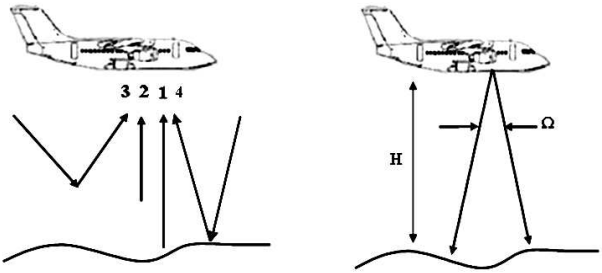
Изучение поверхности Земли может быть произведено следующими способами: пешеходным (наземным), самолетным или космическим. Конечно же, первый вариант получается самый детальный и точный, так как позволяет непосредственно человеку определить оценку искомого фактора. Однако скорость получения информации таким способом и объем данных чрезвычайно малы. Поэтому в настоящее время спутниковые методики завоевали важное место при изучении поверхности Земли. Однако при получении огромных массивов данных по территории Земли спутниковым методам все равно не хватает точности решения различных задач (например, соленость и влажность почвы, определение количества биомассы и др.). Поэтому необходимо реализовывать последовательное решение задачи, связанное сначала с получением космической информации, уточнением ее с помощью уже самолетных методик, но уже обследуя существенно меньшие площади поверхности, и затем уже в известные части поверхности высаживать человека для подтверждения тех или иных результатов.

В данной статье кратко излагается описание программы для самолетных исследований поверхности земли в микроволновом диапазоне спектра с помощью пассивного радиометра. Нами в работе рассматриваются известные диапазоны: *L* – 1–2 ГГц, *S* – 2–4 ГГц, *C* – 4–8 ГГц, *X* – 8–12 ГГц, *Ku* – 12–18 ГГц, *K* – 18–27 ГГц, *Ka* – 27–40 ГГц, *V* – 40–75 ГГц и *W* – 75–100 ГГц.

Расположенный на самолете пассивный радиометр измеряет излучение, которое формируется на некотором участке поверхности, попадающем в поле зрения прибора. Самолет пролетает по некоторой траектории полета над заданной территорией и проводит съемку величины излучения, приходящего на антенну радиометра. Как было сказано выше, это излучение зависит от многочисленных факторов, связанных с элементами поверхности (типы почв, растительности) и состоянием воздуха. В целом сигнал формируется за счет многих процессов, связанных с распространением микроволнового излучения в атмосфере. Основные источники излучений, формирующих сигнал, приведены на рис. 1, *а*.

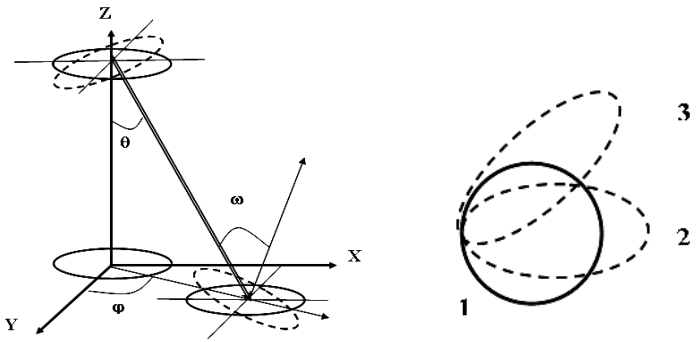
Естественно, что величина сигнала зависит от типов поверхности, которые попадают в поле зрения прибора, рельефа местности и со-

стояния атмосферы. Еще одной особенностью, существенно влияющей на величину сигнала, является форма пятна обзора, которая зависит как от рельефа, так и положения самолета в пространстве (рис. 2, *а*). В зависимости от этого пятно обзора может иметь различные формы, как это показано на рис. 2, *б*.



а *б*

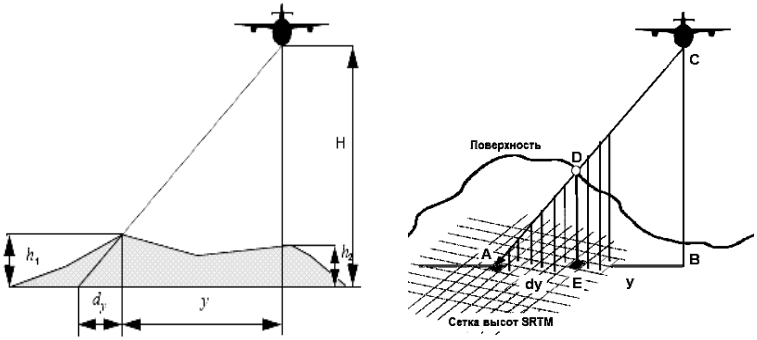
Рис. 1. Формирование сигнала пассивного самолетного радиометра: *а* – типы излучений, формирующих сигнал (*1* – излучение поверхности, *2* – атмосферы, *3* – рассеянное в атмосфере и *4* – отраженное от поверхности); *б* – поле зрения прибора и захватываемая на поверхности область



а *б*

Рис. 2. Изменение формы пятна обзора на поверхности в зависимости от положения самолета и рельефа местности: *а* – геометрия изменений пятна обзора; *б* – изменение круговой формы пятна обзора (*1*) в зависимости от различных наклонов самолета (*2*, *3*) при полете

Для расчета сигнала прибора с учетом рельефа необходимо иметь данные о поле зрения прибора. В качестве данных о рельефе нами выбрана база SRTM (Shuttle radar topographic mission). Данные распространяются в файлах, на сетке с размером ячейки 3 угловые секунды (дискретность высот 1 м и пространственное разрешение 90×90 м).



а *б*

Рис. 3. Схема определения реальной координаты угловой точки окна сканирования: *а* – геометрия расчетов, *б* – учет превышений высот для выбора соответствующей информации из базы SRTM

Файлы данных представляют собой матрицу из 3601×3601 значений, которая может быть импортирована в различные программы построения карт и геоинформационные системы. Для правильного вычисления величины сигнала необходимо точно указывать величину и форму площадки поверхности, которая формирует сигнал, как это показано на рис. 3.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СУБД POSTGRESQL, MYSQL И MS ACCESS

Е.В. Полонская, студентка 5-го курса, каф. ЭМИС
г. Томск, ТУСУР, т. 8-923-404-88-42, salamandra-86@mail.ru

Прогресс, достигнутый за последние десятилетия во всех аспектах вычислительной техники, включая теорию, технологию и приложения, привел к значительному расширению области применения компьютеров и росту числа их пользователей. Существенной частью современного общества являются разнообразные системы доступа и хранения информации, которые являются неотъемлемой составляющей современного научно-технического прогресса. Это говорит об актуальности рассматриваемой темы, так как разработчик, получив то или иное задание, задумывается, какую СУБД выбрать для его реализации. Данный сравнительный анализ был проведен в помощь разработчикам, стоящим перед выбором между различными СУБД. Каждая система управления базами данных имеет определенные возможности, достоинства и недостатки, в данной работе были исследованы возможности

бесплатных СУБД PostGreSql и MySQL, а также MS Access – платной СУБД, входящей в пакет MS Office. Цель исследовательской работы заключается в выявлении достоинств и недостатков перечисленных СУБД и разграничении задач решаемых каждой из них (таблица).

В ходе работы был проведен сравнительный анализ СУБД PostGreSql, MySQL и MS Access по следующим характеристикам:

1) принцип взаимодействия клиент-сервер;
2) наличие ODBC-драйверов;
3) наличие вложенных транзакций;
4) наличие мануальных транзакций;
5) размеры БД и ее обслуживание;
6) наличие триггеров.

Сравнение PostgreSQL, MySQL и MS Access

PostGreSQL	MySQL	MS Access
1. Сокеты TCP/IP, сокеты Unix	1. Сокеты TCP/IP, сокеты Unix или именованные каналы (named pipes, под NT)	1. Локальная СУБД
2. ODBC-драйвер на сайте PostGreSQL	2. Поддержка ODBC посредством ODBC-драйвера MyODBC	2. ODBC-драйвер для MS Access
3. Есть вложенные транзакции (точки сохранения)	3. Нет вложенных транзакций	3. Есть вложенные транзакции
4. Есть ручные транзакции	4. Нет	4. Есть
5. Неограниченно. Реализованный способ хранения данных требует дополнительного обслуживания – периодической дефрагментации БД командой VACUUM (в версии 8.3 появился avtovacuum). Для резервного копирования используется WAL, а для сжатия БД существует утилита gzip	5. Неограниченно. Все функции проверки и восстановления базы данных MySQL сосредоточены в функциональности утилиты mysqlcheck. Она имеет большое количество ключей, при запуске с которыми способна оптимизировать, проверять и восстанавливать базы данных MySQL-сервера	5. 2 Гбайта. БД может увеличиваться за счет большого количества черновых записей. Что приводит к существенному замедлению работы и требует постоянной очистки
6. Есть	6. Появились в версии 5.0	6. Нет

Savepoints (точки сохранения) – в отличие от «плоских транзакций», которые не имеют промежуточных точек фиксации, использование savepoints позволяет отменять работу части транзакции, например

вследствие ошибочно введенной команды, без влияния на оставшуюся часть транзакции. Это бывает очень полезно для транзакций, которые работают с большими объемами данных.

Прежде всего хотелось бы отметить, что PostgreSQL и MySQL являются широко используемыми программными продуктами, которые разрабатывались с разными целями. Это значит, что для решения одних задач больше подходит MySQL, для других же – PostgreSQL. Если требуется максимальная скорость работы, лучше всего, вероятно, будет остановить свой выбор на MySQL Server, также как если необходимо создать web-приложение, MySQL – идеальное решение, быстро и качественно работающее на сетевых серверах. Если же необходимы дополнительные возможности, имеющиеся только у PostgreSQL, например транзакции (мануальные или вложенные) или внешние ключи, следует выбрать эту СУБД. Для бухгалтерских программ также лучше подойдет PostGreSQL, так как в них важно использование ручных транзакций. PostGreSQL совместим с ANSI SQL стандартами, MySQL ближе к ODBC стандарту. Одним из наиболее сильных отличий является невозможность делать подзапросы в MySQL, что не дает разработчику в полной мере использовать богатые функциональные возможности SQL. Также в PostGreSQL есть R-деревья, что было реализовано в MySQL только в версии 4.0.

Что же касается MS Access, то это одна из самых популярных настольных систем управления базами данных. Access представляет собой локальную СУБД и ориентирована на разработку баз данных малой и средней сложности, с которыми одновременно могут работать один или несколько пользователей. Приложение обращается непосредственно к файлу базы данных, доступ к файлу ограничен пределами одного компьютера или локальной сети. Типичной задачей, реализуемой на MS Access, является задача «учета домашних финансов». Данная задача может быть реализована на MS Access даже непрофессиональным программистом, так как эта СУБД проста в освоении и является одной из самых популярных настольных СУБД, также «учет домашних финансов» – база данных, ориентированная на одного пользователя, что типично для задач MS Access. СУБД имеет хороший встроенный язык VBA, позволяет готовить отчеты из баз данных различных форматов. Недостатками данной СУБД являются быстрый рост размеров БД за счет создания большого количества черновых записей, а также плохое отношение к сетевым ошибкам, что приводит к зависанию системы, в других СУБД это реализовано на триггерах. MS Access лучше использовать при создании баз небольшого размера, не больше Гбайта. К тому же данная СУБД – платная и при выборе СУБД этот аспект также следует учитывать.

В ходе данной работы был проведен сравнительный анализ возможностей СУБД PostGreSQL, MySQL и MS Access, были разграничены типы задач, решаемые на каждой из них, было установлено, что для web-приложений больше подойдет MySQL, для бухгалтерских баз данных – PostGreSQL, а для MS Access типичными задачами являются БД небольшого размера, ориентированные на одновременную работу одного или нескольких локальных пользователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шестаков А.П. «Уроки MS Access» www.comp-science.hut.ru/
2. Самохвалов Н. «PostgreSQL 8.3» postgresmen.ru/articles/view/78
3. Бартунов О. «Что такое PostGreSQL?» www.sai.msu.su/~megera/postgres/talks/what_is_postgresql.html
4. Джошуа Д. Дрейк «Точки сохранения транзакций в PostgreSQL V8» www.citforum.ru/database/postgres/savepoints/
5. Базы данных MySQL/PostgreSQL www.io-hosts.ru/faq/mysql.php
6. Гиацинтов А. «MySQL-просто!» www.bravoo.net/view_post.php?id=24
7. Оптимальное использование MySQL www.mysql.ru/docs/optimal.html
8. СУБД MS Access www.proaccess.ru/

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ ВИДЕОКОМПЛЕКС АНАЛИЗА ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Я.А. Хамаганов, аспирант каф. АСУ,
М.Ю. Катаев, науч. рук., проф. каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР

Со времен Гиппократа созерцательный способ наблюдения за пациентами является актуальным и действующим способом диагностики. Современные технические устройства находятся на службе врача как дополнительные или контролирующие. Отметим, что сейчас существует различие в способностях того или иного врача, которые сказываются на выборе направления наблюдения и лечения пациента. В настоящую эпоху, время, когда вводится в повседневность направление доказательной медицины, без сложной аппаратуры и соответствующих программных комплексов не обойтись.

Идея применения видеокомплекса в целях диагностики пациентов, перенесших инсульт, состоит в том, чтобы проанализировать видеозапись, на которой пациент выполняет тестовые упражнения, произвести оценку работы той или иной группы мышц и сверить с предыдущими результатами. Первостепенной в данном подходе является задача преобразования видеопотока, ведь от ее решения зависят быстродействие и эффективность метода в целом. Для того чтобы применять алгоритмы и математические методы оценки работы группы

мышц, необходимо «вытянуть» из видеопотока нужную информацию. В комплексе применены технологии, позволяющие управлять широким спектром устройств аудио/видеоввода, выполнять операции преобразования и обработки видеоинформации. Эти технологии также позволяют производить захват, сжимать, кодировать, фильтровать и кадрировать видеопоток.

Концептуальная схема работы комплекса. На рис. 1 изображена схема работы комплекса. К аппаратной части комплекса относится веб-камера. Она осуществляет видеозапись, подлежащую обработке. Это сжатие видеопотока, конвертация форматов, разложение на составляющие, в различных стандартах и т.д. Также для полноты функциональности имеется возможность «подачи» на вход системы уже готовой, записанной ранее графической информации , разложение составляющих на составляющие различных форматов. После обработки входных данных видеопоток разбивается на последовательность изображений, шаг кадров которой рассчитывается экспериментальным путем, исходя из тестовых упражнений. Полученная последовательность и подвергается последующей обработке и анализу для получения необходимых данных.

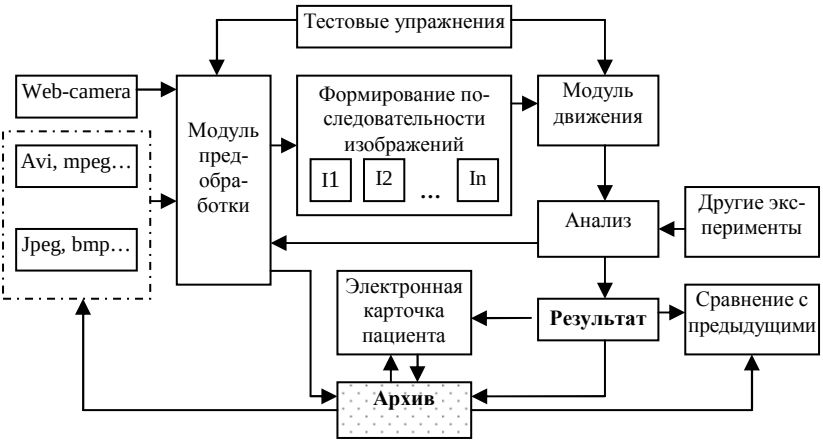


Рис. 1. Схема работы видеокомплекса

В модуле движения заложены алгоритмы обработки последовательности кадров видеопотока, которые позволяют выделить на изображениях фигуру человека и сформировать последовательность покадрового движения человека, выделить на фигуре узловые точки (движущие суставы) и центр тяжести. Затем на основе этого набора изображений анализируется перемещение центра тяжести и узловых

точек, формируются статистические данные, выявляются математические зависимости.

Если результаты анализа не удовлетворяют установленным требованиям, возможно проведение других экспериментов для получения более корректных результатов.

Результат работы комплекса сохраняется в базе данных (архиве). Для измерения изменения состояния человека во времени возможно сравнение с результатами ранее проведенных обследований.

Как один из вариантов данный комплекс предполагается применять в медицине. Для этого требуется разработать форматы и методы хранения, накопления и извлечения медицинских знаний. Необходимо разработать правила анализа и сопоставления этих знаний с выходными данными комплекса. Как пример использования подобных методов и связей – медицинская карточка пациента. Этот объект комплекса не предполагает хранения информации как таковой, он располагает методами извлечения информации из базы данных (архива). С помощью передовых технологий структурирования информации, таких как XML, становится возможной переносимость данных и некоторых объектов комплекса (например, медицинская карточка пациента).

Помимо медицины, можно выделить множество областей применения данной разработки, например спорт, и вместе с тем можно выделить множество направлений перспективного развития.

СЕКЦИЯ 7

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

ДИНАМИКА ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИМПУЛЬСАМИ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

М.Ю. Аверкина, Н.С. Басько, Е.С. Гриднева, студенты 4-го курса, каф. ЭП, В.И. Иткин, аспирант СВЧиКР

г. Томск, ТУСУР, т. 413-887, brine@mail.ru

Активное исследование фоторефрактивных кристаллов связано с многочисленными возможностями использования подобных сред в оптоэлектронике и лазерной физике. Возможности практического применения кристаллов требуют детального исследования их оптических характеристик. Фотоиндуцированное поглощение света в фоторефрактивных кристаллах титаната висмута, наведенное непрерывным излучением, изучено в работах [1–5].

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований динамики фотоиндуцированного поглощения света в легированном кальцием кристалле титаната висмута ($B_{12}TiO_{20}$:Ca) при воздействии лазерными импульсами наносекундной длительности.

В экспериментах использовался легированный кальцием кристалл титаната висмута ($Bi_{12}TiO_{20}$:Ca) толщиной 5,9 мм. Облучение кристалла осуществлялось импульсами света с длиной волны 532 нм и длительностью 40 нс. Для зондирования изменений в наведенном поглощении использовалось излучение непрерывного He–Ne-лазера (λ = = 633 нм). Эксперимент проводился по методике, описанной в [6].

В экспериментах наблюдалось уменьшение коэффициента пропускания кристалла для светового пучка с длиной волны 633 нм, динамика которого на начальном участке представлена на рис. 1. Как видно, здесь наблюдается быстрый рост фотоиндуцированного погло-

щения света. За время после начала импульса, составляющее около 0,2 мкс, поглощение достигало максимума.

Далее наблюдалось восстановление коэффициента пропускания кристалла Δk для светового пучка с длиной волны 633 нм, динамика которого после воздействия импульса представлена на рис. 2. Возвращение поглощения к начальному уровню происходило за период повторения засвечивающих лазерных импульсов, составляющий 0,2 с.

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. Для теоретического описания наблюдаемой динамики фотоиндуцированного поглощения длинноволнового излучения, индуцированного коротковолновой импульсной подсветкой, использовалась модель переноса заряда в кристаллах силленитов, предложенная в работе [7].

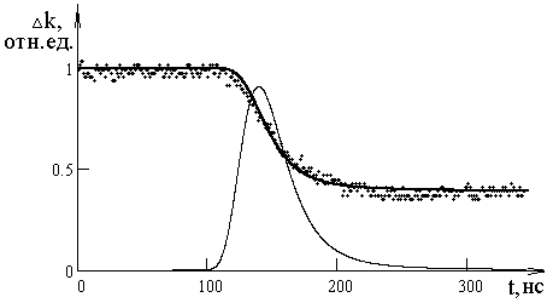


Рис. 1. Расчетная (сплошная кривая) и экспериментальная (точки) зависимости изменений интенсивности излучения с длиной волны 633 нм при воздействии лазерного импульса наносекундной длительности на длине волны 532 нм

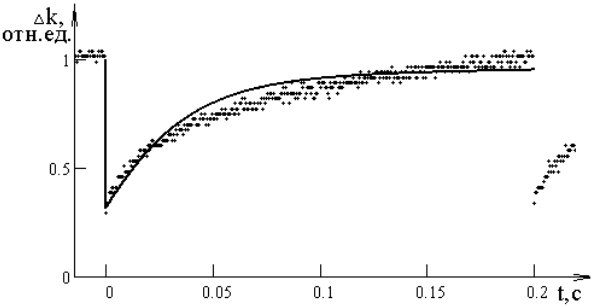


Рис. 2. Расчетная (сплошная кривая) и экспериментальная (точки) зависимости изменения интенсивности излучения с длиной волны 633 нм после воздействия на кристалл $Bi_{12}TiO_{20}$:Ca лазерного импульса (λ = 532 нм)

При численном моделировании динамики фотоиндуцированного поглощения были подобраны материальные параметры кристалла $Bi_{12}TiO_{20}$:Ca, при которых теория воспроизводит характерные особенности динамики поглощения для длинноволнового (красного) излучения, фотоиндуцированного в кристалле импульсами коротковолнового (зеленого) света наносекундной длительности. На основе подобранных материальных параметров кристалла была проведена аппроксимация экспериментально измеренной временной зависимости наведенных изменений в поглощении и релаксации после прекращения освещения.

Проведенное численное моделирование показало, что развитая в работе [7] модель перераспределения заряда хорошо согласуется с результатами проведенного эксперимента.

Авторы благодарят А.Л. Толстика и А.А. Комара за помощь в проведении экспериментов, С.М. Шандарова и А.Е. Манделя за консультации.

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы на 2009–2010 годы».

ЛИТЕРАТУРА

1. Каргин Ю.В., Бурков В.И., Марьин А.А., Егорышева А.В. Кристаллы Bi12MxO20±δ со структурой силленита. Синтез, строение, свойства / ИОНХ РАН. М., 2004. 312 с.
2. Шандаров С.М., Шандаров В.М., Мандель А.Е., Буримов Н.И. Фоторефрактивные эффекты в пьезоэлектрических кристаллах. Томск: ТУСУР, 2007. 241 с.
3. Kobozev O.V., Shandarov S.M., Kamshilin A.A., Prokofiev V.V. Light-induced absorption in a Bi12TiO20 crystal // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 1999. Vol. 1. P. 442–447.
4. Мандель А.Е., Плесовских А.М., Шандаров С.М. и др. Фотоиндуцированное поглощение в кристаллах титаната висмута для узкополосного светового излучения // Известия вузов. Физика. 2003. № 12. С. 48–54.
5. Shandarov S.M., Polyakova L.E., Mandel A.E. et al. Temperature dependences of optical absorption and its light-induced changes in sillenite crystals // Proc. of SPIE. 2007. Vol. 6595. P. 124–131.
6. Аверкина М.Ю., Басько Н.С., Гриднева Е.С. Динамика фотоиндуцированного поглощения света в кристалле титаната висмута, наведенного импульсным излучением с длиной волны 532 нм // Сборник докладов VI Всероссийской молодежной конференции. Самара. 2008. С. 105–111.
7. Шандаров С.М., Мандель А.Е., Кистенева М.Г. и др. Динамика фотоиндуцированного поглощения света в кристалле титаната висмута // Химия высоких энергий. 2008. Т. 42, № 4. С. 38–40.

РАСЧЕТ ХОДА ПУЧКА ЛУЧЕЙ ЧЕРЕЗ ФОКОН

Е.В. Чебаткова, студентка 6-го курс, каф. ЛиСТ
г. Томск, ТПУ, ЭФФ, т. 8-913-115-25-08, elena@27cards.ru

Задача работы – получить формулы, позволяющие рассчитать ход пучка лучей через фокон.

В результате на основании полученных формул может быть написано программное обеспечение, имеющее большое прикладное значение.

Фокон (фокусирующий конус) – жесткий конусообразный оптический элемент, преобразующий масштаб передаваемого (с одного торца на другой) изображения.

Для расчета хода лучей через фокон были использованы методы матричной оптики. В работе рассмотрен общий случай конической поверхности вращения второго порядка.

Примем, что падающий луч задан начальной точкой, лежащей в плоскости $z=0$, и задан вектором $\vec{A}_1(x_1, y_1)$ – сетка на плоскости $X_1O_1Y_1$ и направляющим вектором $\vec{S}_1(\xi_1, \eta_1, \varsigma_1)$. Пусть $\vec{a}_1^*(x_1^*, y_1^*, z_1^*)$ – вектор, проведенный из начала координат в точку падения луча на первую поверхность; n_0 – показатель преломления среды перед поверхностью; n_1 – показатель преломления среды за поверхностью (рис. 1).

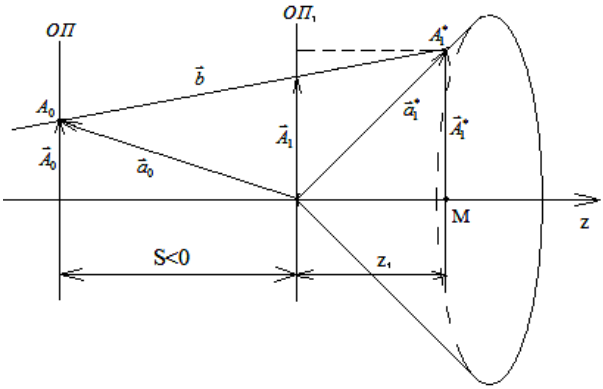


Рис. 1. Задание начальных данных луча

Уравнение конической поверхности $F(x^*, y^*, z) = Cz_1^2 - Ax_1^{*2} - By_1^{*2} = \varnothing$; при этом $A>0$, $B>0$, $C>0$.

Используя метод, предложенный Герцбергером [1], найдем значения для z_1 :

$$(z_1)_1 = -\frac{D_1 + q_1}{(A\xi_1^2 + B\eta_1^2 - C\varsigma_1^2)}; \ (z_1)_2 = -\frac{D_1 - q_1}{(A\xi_1^2 + B\eta_1^2 - C\varsigma_1^2)};$$

где $D_1 = AX_1\,\xi_1 + BY_1\,\eta_1$; $q_1^2 = D_1^2 - \left(AX_1^2 + BY_1^2\right)(A\xi_1^2 + B\eta_1^2 - C\varsigma_1^2)$.

Необходимо определить, в каком случае применяется какое значение z_1.

Рассмотрим левую (рис. 2) и правую (рис. 3) половины конуса и несколько различных случаев падения луча.

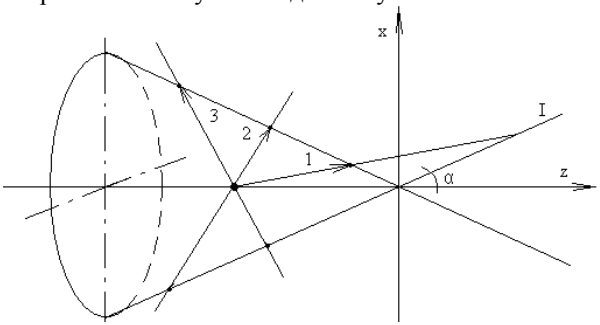


Рис. 2. Различные случаи падения луча на левую половину конуса

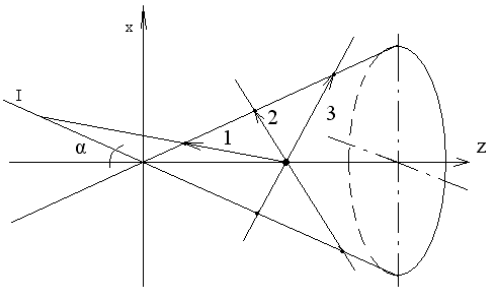


Рис. 3. Различные случаи падения луча на правую половину конуса

В зависимости от случая падения луча и от того, какая поверхность конуса является рабочей, выбираем: при работе внешней поверхности левой половины конуса

$$z_1 = (z_1)_2, \text{ если } \zeta_1 < \varnothing; \ z_1 = (z_1)_1, \text{ если } \zeta_1 > \varnothing;$$

при работе внутренней поверхности левой половины конуса

$$z_1 = (z_1)_2 \text{, если } \zeta_1 > Ø; \; z_1 = (z_1)_1 \text{, если } \zeta_1 < Ø;$$

при работе внешней поверхности правой половины конуса

$$z_1 = (z_1)_2 \text{, если } \zeta_1 < Ø; \; z_1 = (z_1)_1 \text{, если } \zeta_1 > Ø;$$

при работе внутренней поверхности правой половины конуса

$$z_1 = (z_1)_2 \text{, если } \zeta_1 > Ø; \; z_1 = (z_1)_1 \text{, если } \zeta_1 < Ø.$$

Конечными данными задачи являются положение точек в кружке рассеяния, которые определяются координатами:

$$\begin{cases} X_1{}' = X_1\left(1+\psi_1 z_1 (A+C)\right) + z_1^2 \xi_1 \psi_1 (A+C), \\ Y_1{}' = Y_1\left(1+\psi_1 z_1 (B+C)\right) + z_1^2 \eta_1 \psi_1 (B+C), \end{cases}$$

где $X_1 = x_1^* \cdot \varsigma_1 - z_1\xi_1$; $Y_1 = y_1^* \cdot \varsigma_1 - z_1\eta_1$; $\psi_1 = \text{sign}\left(\vec{O}_1 \vec{S}_1\right) \cdot E_1 \cdot \dfrac{q_1' - q_1}{\bar{R}_1}$;

$E_1 = \text{sign}\,\varsigma_1 = \dfrac{\varsigma_1}{|\varsigma_1|}$; sign – знак величины; $q_1'^2 = \left(n_1^2 - n_0^2\right)\bar{R}_1 + q_1^2$;

$\bar{R}_1 = A^2 X_1^{*2} + B^2 Y_1^{*2} + C^2 z_1^2 \varsigma_1^2$.

В результате были получены формулы, позволяющие рассчитать ход пучка лучей через коническую поверхность второго порядка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герцбергер М. Современная геометрическая оптика. М.: Изд-во иностранной лит-ры, 1962. 487 с.

КОМПЛЕКС ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА И СОЗДАНИЮ СЕТИ НА ОСНОВЕ АППАРАТУРЫ ЦВОЛТ СЕРИИ «ТРАНСПОРТ-8Х30»

Е.С. Черкашин, студент 5-го курса РТФ,
А.П. Коханенко, д.ф.-м.н., проф. каф. СВЧ и КР,
С.Н. Шарангович, к.ф.-м.н., зав. каф. СВЧ и КР
ТУСУР, г. Томск, kokh@elefot.tsu.ru, shr@svch.rk.tusur.ru

В настоящее время широкое распространение получили волоконно-оптические системы передачи информации на основе оптических волокон (ОВ). Понимание процессов приема/передачи цифровых сигналов и возникновение искажений в линиях важны для современного специалиста в области телекоммуникаций. Сложность исследования таких процессов обусловлена отсутствием макетов на основе дейст-

вующих цифровых волоконно-оптических линейных трактов (ЦВОЛТ).

Целью является создание двух лабораторных работ (ЛР) по конфигурации и настройке сети на основе ЦВОЛТ серии «Транспорт 8х30» и исследование влияния внешних и внутренних факторов на характеристики передаваемого сигнала в ЦВОЛТ. Данные лабораторные работы предназначены для подготовки инженеров по специальности «Физика и техника оптической связи» (210401).

Схема лабораторного стенда. Для проведения лабораторных работ была создана экспериментальная установка, структурная схема которой представлена на рис. 1.

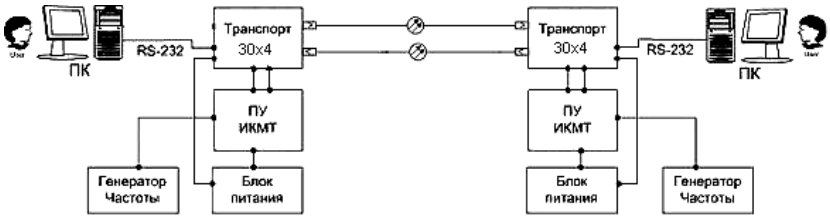


Рис. 1. Структурная схема стенда лабораторной работы

Установка, внешний вид которой представлен на рис. 2, включает:

- два ПК (персональных компьютера);
- источник питания;
- две платы управления и импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) трактов;
- две платы гибкого мультиплексирования;
- две платы полукомплекта;
- две интерфейсные платы крейта;
- осциллограф с функцией генератора.

Описание структуры и программного обеспечения ЛР. Комплекс лабораторных работ включает в себя следующие направления:

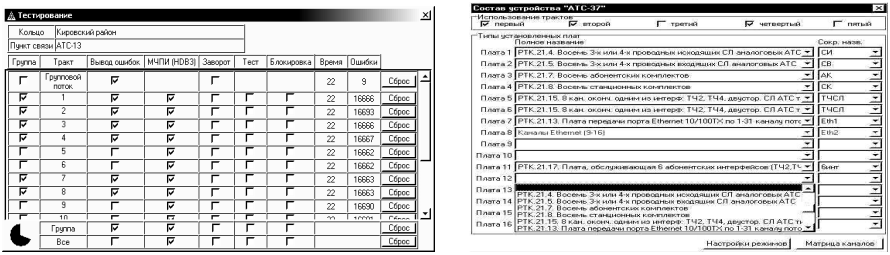
- создание сети и изменение ее конфигурации;
- проверка сигнализации аппаратуры «Транспорт 8×30»;
- исследование влияния затухания сигнала на коэффициент ошибок в линии;
- исследование влияния вносимых шумов на коэффициент ошибок в оптическом тракте;
- исследование влияния искусственных дефектов ОВ на коэффициент ошибок и затухание сигнала в линии.

Рис. 2. Внешний вид аппаратуры ЦВОЛТ серии «Транспорт 8×30»

В комплексе лабораторных работ используются два программных комплекса, разработанных ОАО «Русская телефонная компания». «Центр управления ЦВОЛТ» версия 1.0 предназначен для организации трактов Е1 на базе аппаратуры ЦВОЛТ ОАО «Русская телефонная компания». С помощью этого ПО осуществляется настройка схемы организации связи, создание пунктов оптических колец и матриц потоков.

«Центр управления транспорт 30×4-версия 5.3» предназначен для работы обслуживающего персонала с аппаратурой гибкого мультиплексирования «Транспорт-30×4», с помощью этого ПО осуществляется назначение потоков Е1; конфигурация коммутатора с помощью матрицы каналов; загрузка настроек в плату ЦВОЛТ и контроль состояния потоков.

Интерфейс указанного ПО приведен на рис. 3.



а *б*

Рис. 3. Внешний вид интерфейса программного обеспечения:
а – окно тестирования состояния тракта; *б* – окно конфигурации устройств

Таким образом, представленная работа позволяет организовать лабораторный практикум по дисциплине ОЦТС, в рамках которого проводится ознакомление с работой аппаратуры ЦВОЛТ «Транспорт 8х30», приобретаются практические навыки в создании и конфигурации матрицы потоков. Кроме этого, изучается влияние затухания оптического сигнала, дефектов ОВ и шумов на качество работы линейного тракта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тишков Д.С. Лабораторная работа по исследованию линейного тракта на основе аппаратуры ЦВОЛТ серии «Транспорт-8х30»: Дипломный проект. 2008. 104 с.

2. Техническое описание, инструкция по эксплуатации и монтажу аппаратуры ЦВОЛТ серии «Транспорт-М» производства ОАО «Русская Телефонная Компания». Новосибирск, 2007. 98 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНОЙ ФОТОННОЙ СВЕРХРЕШЕТКИ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ ПРОЕКЦИОННЫМ МЕТОДОМ

С.А. Давыдов, П.А. Тренихин, студенты 4-го курса

г. Томск, ТУСУР, Cupera@sibmail.com

В настоящее время во всем мире происходит стремительное внедрение лазеров в науку и технику. Для многих применений необходимы устройства, управляющие пространственными и временными характеристиками лазерного излучения. Для создания таких устройств можно использовать анизотропные среды, в частности кристаллы, обладающие электрооптическими и акустическими нелинейными свойствами [1]. Одним из таких материалов является кристалл ниобата лития, легированный фоторефрактивными примесями, который нашел широкое применение в интегральной оптике. Его оптические свойства могут изменяться под воздействием света. Используя данный эффект, можно сформировать реконфигурируемые оптические элементы, которые могут применяться при создании оптически управляемых элементов и пассивных планарных дифракционных структур для преобразования профилей световых пучков [2].

Фотонная сверхрешетка формировалась в объемном кристалле $LiNbO_3$:Fe проекционным методом, путем последовательной записи в нее двух одномерных фоторефрактивных решеток с отношением их пространственных периодов 1:3. Период модулирующей решетки составлял 30 мкм, волновые векторы одномерных решеток были ориентированы вдоль оптической оси кристалла (ось *Z*).

На рис. 1 представлена схема экспериментов по записи сверхрешетки. Индуцирующее излучение лазера *1* (рис. 1) коллимировалось системой линз *2* и световой пучок освещал поверхность амплитудного транспаранта. Изображение транспаранта проецировалось на поверхность фоторефрактивного кристалла *5* с помощью цилиндрической линзы *4*. Максимальная мощность излучения составляла 50 мВт.

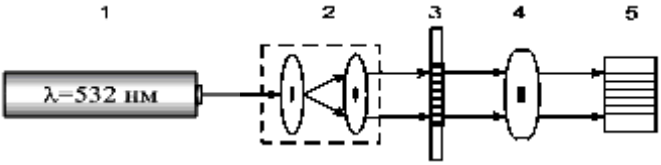


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для оптического индуцирования волноводных структур в образцах $LiNbO_3$: *1* – лазер с длиной волны $\lambda = 532$ нм; *2* – коллиматор; *3* – фотошаблон с различными структурами решетки; *4* – цилиндрическая линза; *5* – кристалл $LiNbO_3$

Исследование сформированной сверхрешетки производилось широким пучком, апертура которого соизмерима с шириной кристалла. Для этих целей использовался коллиматор *2* (рис. 2).

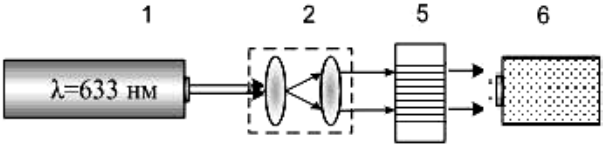
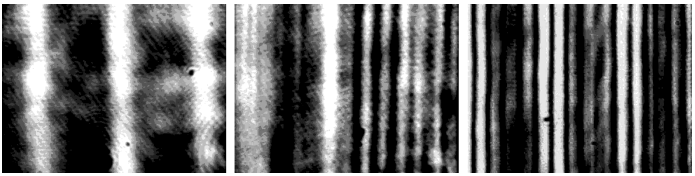


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования дискретной дифракции фокусированным пучком *6* – ПЗС-камера

Для исследования сформированных структур использовалось излучение He–Ne-лазера с длиной волны 633 нм и мощностью 1 мВт. В этом случае полученные структуры освещались необыкновенно поляризованным световым пучком в направлении, нормальном к плоскости структуры. Линза *6* позволяла проецировать изображение с выходной плоскости образца на матрицу ПЗС-камеры.



а *б* *в*

Рис. 3. Распределения интенсивности на выходной плоскости кристалла для разных областей структуры

На рис. 3 приведено распределение интенсивности света на выходной плоскости кристалла со сверхрешеткой и показана ее структура в разных областях кристалла. При формировании модулирующая решетка занимала большую область кристалла, что позволяет выделить область кристалла со сверхрешеткой (см. рис. 3, *в*), переходную область (см. рис. 3, *б*) и область с одномерной периодической структурой (см. рис. 3, *а*).

Проведенный эксперимент показал, что формирование фотонной сверхрешетки проекционным методом позволяет формировать волноводные структуры различных размеров, а также дает возможность формирования ее в любой области кристалла.

Таким образом, экспериментальные исследования оптически индуцированных сверхрешеток в фоторефрактивных кристаллах ниобата лития позволили выявить особенности их структуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 06-02-39017).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шандаров В.М. Основы физической и квантовой оптики / В.М. Шандаров. Томск: ТУСУР, 2005. 258 с.

2. Петров М.П. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике / М.П. Петров, С.И. Степанов, А.В. Хоменко. М.: Наука, 1992. 251 с.

СТРУКТУРИРОВАННАЯ КАБЕЛЬНАЯ СЕТЬ ОФИСНОГО ЗДАНИЯ

А.И. Глебова, студентка 5-го курса, А.В. Шапорев, аспирант

г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧ и КР, т. 413-911

Для любого офисного здания проблема быстрого, надежного и экономичного обмена информацией является актуальной. С каждым годом объем информации, передаваемой как внутри организации, так и во внешние сети, увеличивается. Основой для создания единого информационного пространства предприятия является защищенная корпоративная сеть с полным спектром телекоммуникационных услуг. Наличие сетевой среды является необходимым условием функционирования любой структуры, и от способа ее реализации зависит деятельность всей организации.

Основой информационной инфраструктуры предприятия, позволяющей свести в единую систему множество информационных сервисов разного назначения, является структурированная кабельная сеть (СКС) [1, 2]. СКС представляет собой иерархическую кабельную систему здания или группы зданий, разделенную на структурные подсис-

темы. Она состоит из набора медных и оптических кабелей, кросс-панелей, соединительных шнуров, кабельных разъемов, модульных гнезд, информационных розеток и вспомогательного оборудования. Все перечисленные элементы интегрируются в единую систему и эксплуатируются согласно определенным правилам. Все этажные коммутационные узлы специальными магистралями объединяются в коммутационном центре здания. Сюда же подводятся внешние кабельные магистрали для подключения здания к глобальным информационным ресурсам, таким как телефония, Интернет и т.п. Такая топология позволяет надежно управлять всей системой здания, обеспечивает гибкость и простоту системы.

При создании СКС здания необходимо минимизировать расходы, обеспечить достаточную надежность, заложить возможности для масштабирования. Указанных целей можно достичь несколькими путями.

В первом варианте подключение здания к внешним телекоммуникационным линиям производится с использованием одной ВОЛС. Дальнейшее подключение этажного оборудования осуществляется с использованием витой пары (рис. 1). Надежность данного исполнения будет наиболее низкой, так как каждый этаж здания подключается без использования дублирующих каналов связи. Минимизация инвестиций в оборудование позволяет сократить разовые затраты на приобретение телекоммуникационного оборудования и элементов СКС. Такой подход, несомненно, принесет экономию сегодня, но в случае увеличения количества оборудования система не будет масштабируемой, что приведет к дополнительным расходам на расширение парка телекоммуникационного оборудования и реорганизации СКС. Сложности с масштабированием системы позволяют однозначно указать на возможные ошибки в безопасности создаваемой системы и ее невысокую надежность.

Второй вариант основан на предыдущем с дополнительным включением системы резервирующей линии связи между этажами (рис. 2). Это позволяет минимизировать риски потери связи между этажами здания и экономически выгодно, так как позволяет вдвое сократить расход медного кабеля.

В третьем варианте СКС вертикальная разводка здания выполняется на основе волоконно-оптической линии связи с применением двух медиаконверторов на каждом этаже (рис. 3). Горизонтальная разводка выполняется на основе витой пары. Этот вариант требует наибольших инвестиций в оборудование и элементы СКС. В то же время он обеспечивает максимальную надежность подключения конечного оборудования.

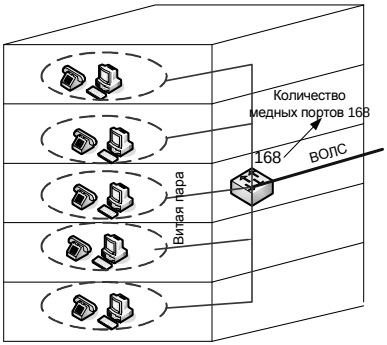


Рис. 1. СКС офисного здания
на основе витой пары

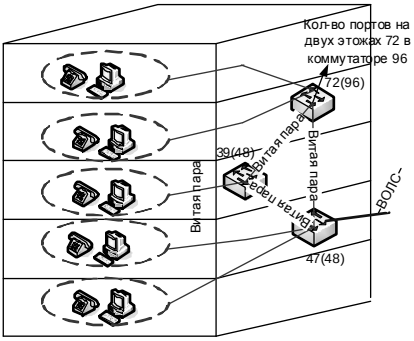


Рис. 2. СКС офисного здания на
использовании витой пары
и с дополнительным включением
резервирующей линии связи
между этажами

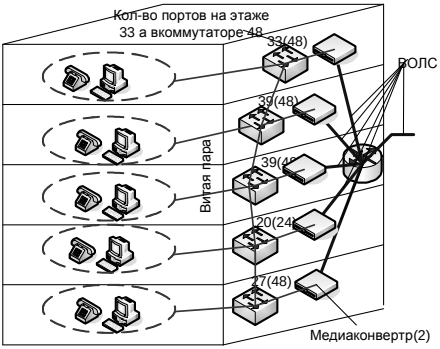


Рис. 3. СКС офисного здания
на основе ВОЛС

Применение принципа избыточности обеспечивает возможность очень быстрой адаптации кабельной системы под конкретные производственные потребности и позволяет не останавливать работу офиса или его части при проведении каких-либо организационных и технических изменений. Поскольку продолжительность эксплуатации СКС в несколько раз превышает аналогичный показатель для остальных компонентов информационной инфраструктуры здания, этот принцип особенно важен, поскольку наращивание кабельной системы, как и ее модернизация при увеличении штата сотрудников или замене телекоммуникационного оборудования, как правило, нежелательны.

Таким образом, последний вариант позволяет построить наиболее гибкую систему, которая в процессе эксплуатации будет легко масштабироваться и иметь наибольшую безопасность. Резервные телекоммуникационные линии связи подключения здания обеспечат безотказную работу системы, а дублирующие линии связи внутри здания обеспечат бесперебойную работу всей системы.

Структурированная кабельная система потенциально служит дольше остальных составляющих информационной инфраструктуры, что является гарантией надежной долговременной работы предприятия и защитой инвестиций заказчика.

На основе данного варианта была разработана СКС пятиэтажного офисного здания в г. Томске.

Авторы благодарят А.Е. Манделя за полезные консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов А.Б. Проектирование и расчет структурированных кабельных систем и их компонентов. М.: ДМК Пресс; Компания АйТи, 2003. 416 с.

2. Семенов А.Б., Стрижанов С.К., Сунчелей И.Р. Структурированная кабельная система. Стандарты, компоненты проектирования. М.: Компьютер Пресс, 1999. 482 с.

ДИАГНОСТИКА ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ МЕТАЛЛА МЕТОДОМ СВОБОДНЫХ И ЛОКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

И.С. Григорьев, студент 4-го курса, каф. РЗИ,;
Д.Н. Хатьков, аспирант каф. СВЧ и КР,
П.А. Чернышов, студент 4-го курса, каф. СВЧ и КР
г. Томск, ТУСУР, hatkovnd@svch.rk.tusur.ru, chernyshovp@yahoo.com., т. (3822) 413-643

В настоящее время для диагностики металлоизделий широко используются ультразвуковой и рентгеновский методы дефектоскопии. Однако, несмотря на их большие достоинства, эти методы имеют ограничение при их использовании для диагностики металлоизделий сложной формы, имеющих либо большую толщину металла, либо тонкостенную конструкцию. Поэтому целью данной работы является изучение условий применения методов локальных и свободных колебаний к дефектоскопии объектов сложной формы [1].

Для диагностики были выбраны два образца. **Первый образец** представляет собой составляющую часть массивного поршня (шайба) в нефтяном насосе (рис. 1, *а*), а второй образец – тонкостенная герметически запаянная конструкция (тарелка) (рис. 1, *б*). Для исследований было использовано готовое оборудование фирмы «ООО «Лазерные системы диагностики» (г. Томск). В ходе проделанной работы было рассмотрено два метода анализа целостности объектов: метод свободных колебаний и метод локальных колебаний.

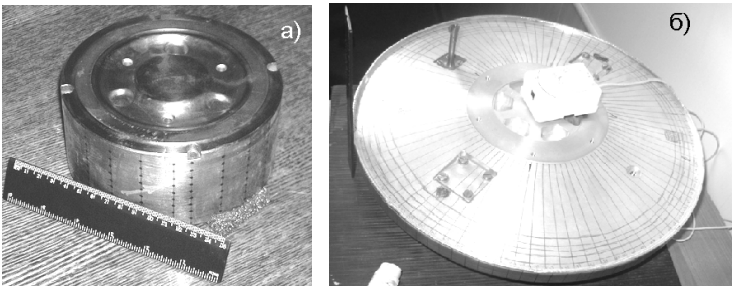
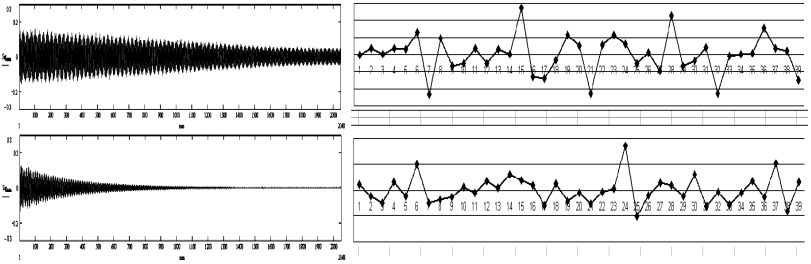


Рис. 1. Исследуемые образцы

Метод свободных колебаний. Данный метод был использован для исследования объекта «шайба». В комплекте для сравнения имелось два образца – один с видимым дефектом, другой целый. Для снятия данных о целостности объекта по методу свободных колебаний на центр «шайбы» устанавливался акустический датчик, содержащий инерционную миниатюрную металлизированную мембрану, колебания которой изменяли емкость электродов, создавая электрический сигнал. Блок управления подключался к компьютеру (в данном случае к ноутбуку) через LPT-порт. С ноутбука через управляющую программу подавались сигналы на блок управления, который в свою очередь приводит в действие электромеханический ударник соленоидального типа, стержнем которого наносились удары по заранее размеченным точкам на исследуемом объекте. Одновременно с ударом блок управления производит оцифровку сигнала с акустического датчика. Полученные данные передаются на ноутбук в виде массива чисел, пригодных для дальнейшей обработки.

Метод локальных колебаний. Для исследования метода локальных колебаний используем ту же экспериментальную установку, но исследуем целостность другого объекта, который представляет собой две дюралюминиевые пластины, спаянные между собой в виде «тарелки». Из образовавшегося пространства откачан воздух, поэтому необходимо контролировать целостность сварочного шва в каждой точке. Для этого по периметру обода «тарелки» делалась разметка точек нанесения зондирующих импульсов удара с шагом 10 мм. Поскольку обод тарелки был широким, то импульсы ударов наносились и в вертикальной плоскости, тем самым обеспечивалось акустическое сканирование всей поверхности шва.

Полученные результаты. При диагностике образцов были получены сигналы, представленные на рис. 2. Первый набор сигналов относится к «шайбе» (см. рис. 2, *а*), а второй – к «тарелке» (см. рис. 2, *б*).



а *б*

Рис. 2. Результаты диагностики «шайбы» и «тарелки»

На рисунках для сигналов «шайбы» хорошо видно сильное отличие друг от друга, которое соответствует разным коэффициентам затухания. Для сигналов «тарелки» таких существенных различий не отмечалось. Это объясняется близкими свойствами соседних измеряемых точек шва. Поэтому для увеличения чувствительности метода необходимо использовать более сложные алгоритмы.

В ходе проделанных опытов мы наглядно удостоверились в возможности практического применения рассмотренных методов. Были выявлены достоинства и недостатки каждого из методов. Особенно хотелось бы отметить возможность точного местонахождения дефектного участка при применении метода локальных колебаний, а также простоту вычислений и дискретность ответа (объект цел или бракован) для метода свободных колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заболотнов Ю.М. Теория колебаний. Самара: СГАУ, 1999. 168 с.

АНИЗОТРОПИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО СВЕТОРАССЕЯНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СПЕКТРАХ КОНГЛОМЕРАТОВ НАНОКОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ И МАГНЕТИТА ЖЕЛЕЗА

И.С. Ибрагимов, Л.В. Загребин, Р.В. Литвинов, Н.Д. Хатьков, Л.И. Шангина

В настоящее время представляет большой интерес изучение оптических свойств наноколлоидных растворов. Одним из способов их изучения является электронный микроскоп. Однако с его помощью достаточно трудно изучить поведение ансамблей наночастиц (конгломератов), которые объединяются под тем или иным физическим воздействием. Для изучения влияния оптического воздействия на поведе-

ние наночастиц в растворах был использован оптический Фурье-процессор, схема которого представлена на рис. 1.

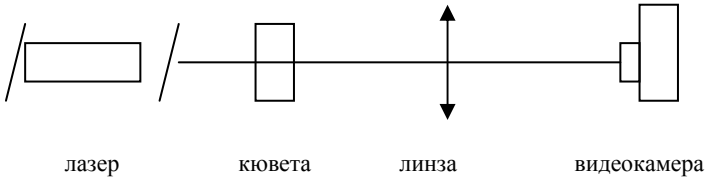


Рис. 1. Схема оптической установки

В установке использовался полупроводниковый лазер мощностью 2 мВт и длиной волны 0,53 мкм, апертурой 1 мм, линза с фокусным расстоянием 70 мм, а также видеокамера. Кювета была изготовлена из кварцевого стекла и имела длину в направлении распространения светового луча 10 мм. В качестве наночастиц использовались частицы диоксида кремния (SiO_2) и магнетита (Fe_3O_4). Концентрация наночастиц в растворах была небольшой и варьировалась в пределах 0,0025–0,012.

В эксперименте наблюдалось рассеяние светового луча лазера после его прохождения через кювету с раствором. Линза, расположенная на фокусном расстоянии от кюветы и видеокамеры, формировала хаотичный пространственный спектр, который записывался во времени на видеокамеру. Дальнейшую обработку видеофайла осуществляла программа PixVideo.exe. Обработка предполагала выделение только динамически изменяющихся световых пространственных спектральных компонент во времени и их последующего усреднения. Итоговое оптическое изображение затем подвергалось процедуре оконтуривания. Результатом такой обработки стали изображения пространственных спектров наноколлоидных растворов, представленных на рис. 2–3.

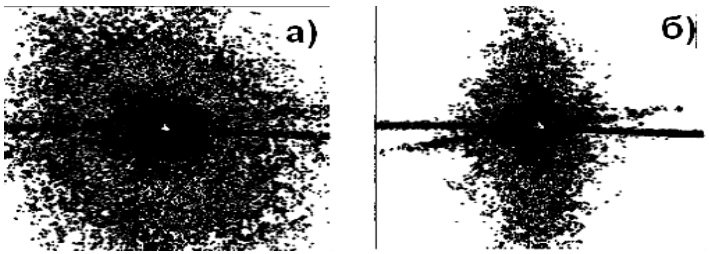


Рис. 2. Изображение пространственного спектра для диоксида:
а – начало экспозиции; *б* – после экспозиции 300 с

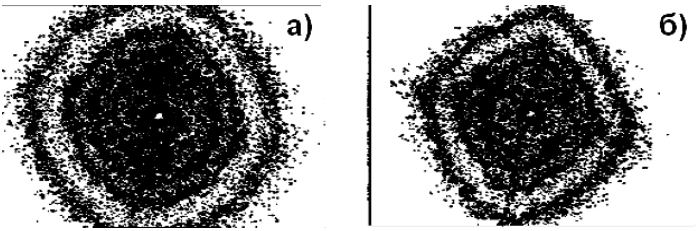


Рис. 3. Изображение пространственного спектра для магнетита:
а – начало экспозиции; *б* – после экспозиции 300 с

Поляризация светового излучения в экспериментах была горизонтальной. Хорошо видно, что изображения для диоксида и магнетита имеют существенные различия, обладают анизотропными свойствами и во времени после воздействия светового излучения меняются в сторону уменьшения полосы пространственных частот. Наличие анизотропных свойств у изображений спектров свидетельствует о неправильной геометрической форме конгломератов частиц, а уменьшение полосы пространственных частот – об их укрупнении под действием света. Таким образом, использование оптического Фурье-процессора позволило осуществить анализ когерентно-оптического взаимодействия света и наночастиц в коллоидном растворе.

ДИНАМИКА ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА, ЛЕГИРОВАННОМ ЖЕЛЕЗОМ

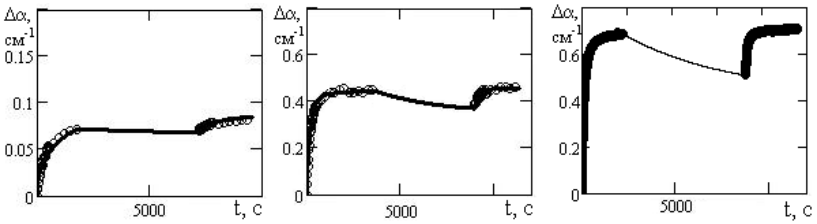
В.И. Иткин, аспирант СВЧ и КР, Т.Н. Дудик, О.В. Позак, И.Л. Михеев, А.В. Погадаев, студенты 5-го курса, СВЧ и КР
г. Томск, ТУСУР, т. 656-554, ivi@stack.ru

Кристаллы титаната висмута $Bi_{12}TiO_{20}$, относящиеся к семейству силленитов, обладают хорошими фоторефрактивными свойствами и находят применение во многих приложениях динамической голографии [1]. Формирование динамических голограмм в этих кристаллах сопровождается значительным фотоиндуцированным изменением оптического поглощения, причиной которого считается перезарядка дефектных центров с различными сечениями фотоионизации [2, 3]. Эффективным способом воздействия на фотохромные и фоторефрактивные характеристики кристаллов титаната висмута является легирование этих кристаллов [4].

В данной работе изучалась динамика фотоиндуцированного поглощения в кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$:Fe при его облучении светом полупроводниковых светодиодов на длинах волн λ = 660, 570 и 505 нм.

Эксперименты проводились с тонкими кристаллами титаната висмута среза [100], легированном Fe, по методике, изложенной в работе [3].

Временная эволюция изменений коэффициента поглощения кристалла $Bi_{12}TiO_{20}$:Fe при двукратной засветке кристаллов, разделенной этапом темновой релаксации, представлена на рис. 1.



а *б* *в*

Рис. 1. Экспериментальная (точки) и расчетная (сплошная кривая) зависимости динамики фотоиндуцированного поглощения в кристалле BTO:Fe на длинах волн 660 (*а*), 570 (*б*) и 505 нм (*в*)

Характерно, что скорость фотоиндуцированных изменений в поглощении и стационарный уровень $\Delta\alpha$ существенно возрастают с уменьшением длины волны облучающего света. На всех длинах волн облучения наблюдается переход от начального быстрого участка роста $\Delta\alpha$ к медленному, затем зависимость $\Delta\alpha(t)$ выходит на уровень, близкий к стационарному.

Для описания динамики фотоиндуцированных эффектов в фоторефрактивных кристаллах обычно используются скоростные уравнения для концентрации электронов в зоне проводимости, а также для концентраций неионизированных доноров и ловушек, захвативших электроны. Большое разнообразие структурных дефектов в кристаллической решетке силленитов приводит к значительным трудностям в выборе модели для интерпретации оптических центров и позволяет сделать вывод о сложном характере оптических центров и их энергетического спектра. Все используемые динамические модели предполагают наличие дискретного энергетического спектра дефектных центров в запрещенной зоне кристалла. При анализе динамики фотоиндуцированного поглощения в кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$:Fe использовалась дискретная модель, предложенная в работе [5] (рис. 2).

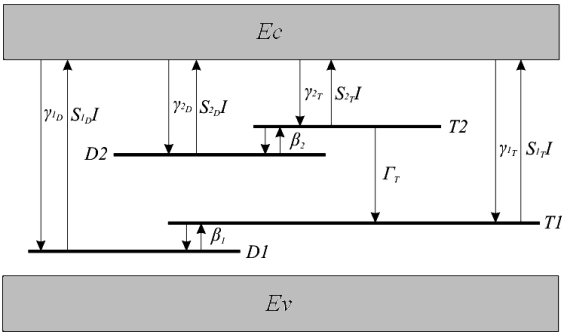


Рис. 2. Схема энергетических уровней в запрещенной зоне кристалла

Предложенная модель предполагает наличие основного и промежуточного уровней в запрещенной зоне кристалла. Основной уровень сопоставлен разделенным потенциальным барьером донорам D1 и ловушкам T1, расстояние которых от дна зоны проводимости определяется энергией кванта используемого светового излучения. 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. Большую роль в модели играют переходы электронов между донорным и ловушечным состояниями под действием термического возбуждения. В соответствии с моделью, близко расположенные донорные (D) и ловушечные (T) центры разделены потенциальным барьером, сквозь который электроны могут туннелировать с вероятностью β, зависящей от температуры кристалла.

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 $Гt$. 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} и γ_{1T}, γ_{2T}.

Численный анализ системы скоростных уравнений, описывающих перераспределение зарядов по дефектным центрам под действием пространственно однородного освещения, позволил подобрать материальные параметры кристаллов и описать динамику фотоиндуцированного изменения поглощения в кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$:Fe при облучении квази-

монохроматическим светом с длинами волн 660, 570 и 505 нм. Сравнение расчетных кривых с экспериментальными зависимостями (см. рис. 2) показывает, что предложенная модель удовлетворительно описывает начальные участки нарастания фотоиндуцированного поглощения, переход от быстрого начального участки к медленному, стационарный уровень и темновую релаксацию наведенных изменений в поглощении при засветке кристалла излучением с длинами волн в диапазоне 505–660 нм.

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)».

Авторы благодарят С.М. Шандарова и А.Е. Манделя за постановку задачи и консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Solymar L.,Webb D.J., Grunnet-Jepsen A. The physics and application of photorefractive materials. Oxford: Clarendon Press, 1996. 493 p.

2. Buse K. // Appl.Phys. B. 1997. Vol. 64. P. 273–291.

3. Мандель А.Е., Плесовских А.М., Шандаров С.М. и др. // Известия вузов. Физика. 2003. № 12. С. 48–54.

4. Каргин Ю.Ф., Бурков В.И., Марьин А.А., Егорышева А.В. Кристаллы $Bi_{12}MxO_{20}$-δ со структурой силленита. Синтез, строение, свойства. М.: ИОНХ РАН, 2004. 312 с.

5. Шандаров С.М., Мандель А.Е., Кистенева М.Г. и др. Химия высоких энергий. 2008. Т. 42, № 4. С. 38–40.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ ДВУХКАНАЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Д.Н. Хатьков, аспирант каф. СВЧ и КР, Н.Д. Хатьков, к.т.н., доцент, С.И. Романов, гл. конструктор ООО «Лазерные системы диагностики»

г. Томск, ТУСУР, т. 413-643, hatkovnd@svch.rk.tusur.ru

Для дефектоскопии сварных швов труб может использоваться диагностический комплекс, содержащий в своей основе двухканальный лазерный датчик, устанавливаемый неподвижно в верхней части металлической трубы [1]. В основе своей результатом измерений является круговая диаграмма сечения трубы, отражающая наличие дефектов сварки в виде некоторых максимумов, направленных к центру круговой диаграммы (рис. 1).

Данная диаграмма формируется с помощью дифференциального метода, встроенного в математическую обработку сигналов обоих каналов. Этот метод предполагает высокую идентичность сигналов обо-

их каналов лазерных преобразователей для случая отсутствия дефектов в сварном шве. Поэтому в качестве одного из критериев, используемых для оптимальной настройки лазерного комплекса, может служить коэффициент корреляции между диаграммами, которые формирует каждый независимый лазерный датчик. Этот критерий и был использован в экспериментах для оптимальной настройки параметров лазерного измерительного комплекса (рис. 2, 3).

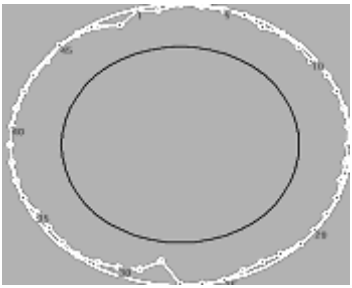


Рис. 1. Круговая диаграмма результатов измерений качества сварного шва трубы

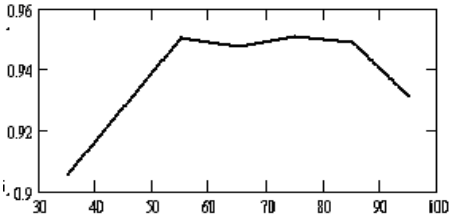
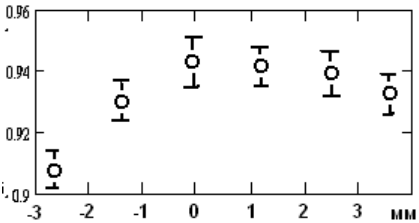


Рис. 2. Зависимость коэффициента корреляции между диаграммами от количества используемых точек сигнала лазерных преобразователей

Рис. 3. Зависимость коэффициента корреляции между диаграммами от величины смещения лазерных датчиков относительно друг друга



Таким образом, результаты экспериментальных измерений позволили определить, что точность установки лазерных головок относительно друг друга составляет 1 мм, а количество точек сигнала, которое необходимо использовать находится в пределах 60–80 точек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программный комплекс формирования диаграммы неоднородностей и определения качества сварного шва металлических труб по сигналам лазерного преобразователя акустических волн: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Заявка № 2007610587, рег. 12 апреля 2007 г. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕМНЫХ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СОЛИТОНОВ В ПРОТОННО-ИМПЛАНТИРОВАННОМ ПЛАНАРНОМ ВОЛНОВОДЕ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ

В.Г. Круглов[1], аспирант, В.М. Шандаров[1], д.ф.-м.н., проф., Ф Чен[2], проф., Я Тан[2]

[1]г. Томск, ТУСУР, т. 8-903-915-00-24, kvg333@yandex.ru

[2]Шандонгский университет, Джинан, Китай

В последнее десятилетие фоторефрактивные пространственные солитоны, т.е. пространственно локализованные пучки, распространяющиеся без дифракции в фоторефрактивных материалах, были объектами многих публикаций, что свидетельствует о привлекательности их нелинейных свойств и, следовательно, возможного применения, например для создания оптических переключателей световых пучков [1]. В дефокусирующей среде могут существовать темные солитоны, для которых в нелинейном режиме неосвещенная область в световом поле не испытывает дифракции [2]. Повышенный интерес к солитонам стимулирован их уникальным свойством сталкиваться; т.е. они ведут себя как частицы, проявляющие силу в их взаимодействии. В статье [3] теоретически продемонстрировано, что природа взаимодействия темных солитонов может радикально изменяться при наличии нелокального отклика материала. В статье [4] приведены первые экспериментальные исследования эффекта взаимного притяжения между темными солитонами, что предоставляет новые возможности для контроля взаимодействия между ними. Целью данной работы явилось исследование эффектов притяжения 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.

Схема экспериментов представлена на рис. 1. Излучение He–Ne-лазера *1* с длиной волны $\lambda = 633$ нм проходит через коллиматор *2* и с помощью линзы *6* вводится в волновод *7* через его торец. Линза *10* с фокусным расстоянием $f = 16$ см проецирует изображение выходной

грани образца на матрицу CCD-камеры *11*. С помощью тонких стеклянных пластинок *4*, *5*, введенных в световой пучок, достигается фазовый сдвиг $(2 \cdot m+1) \cdot \pi$ светового поля, необходимый для формирования темных солитонов. Таким образом, на входной грани образца световое поле имеет два симметричных темных провала в пучке. Микрометрический столик *8* позволяет позиционировать образец для эффективного возбуждения света в волноводе. Считывание сформированных темными солитонами волноводных элементов в образце осуществлялось излучением с той же длиной волны.

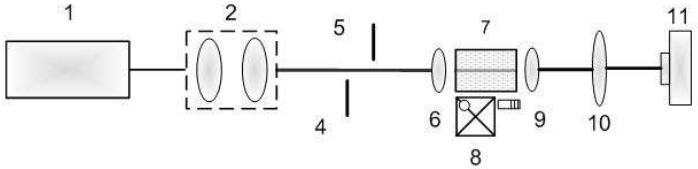


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: *1* – He–Ne-лазер; *2* – коллиматор; *4*, *5* – стеклянные пластинки; *6*, *9* – микролинзы; *7* – образец $LiNbO_3$; $Cu(H^+)$; *8* – микрометрический столик; *10* – проецирующая линза; *11* – CCD-камера

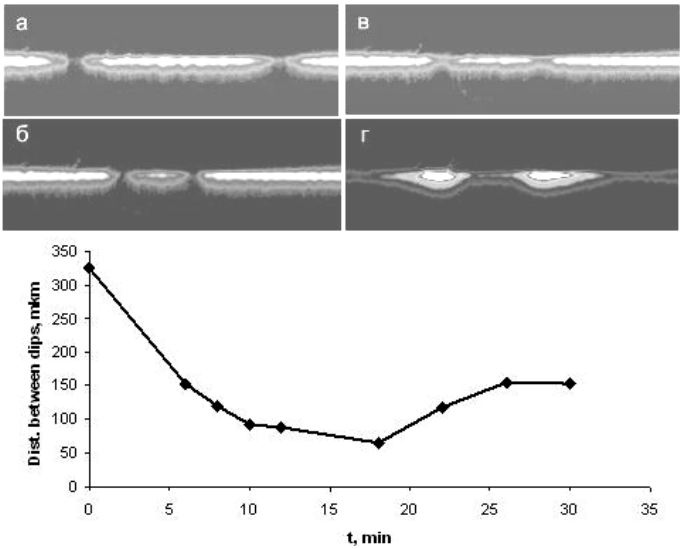


Рис. 2. Формирующиеся световые поля и считывающие пучки на выходе планарного волновода: *а* – формирующий пучок при t = 0 мин; *б* – поле при t = 10 мин; *в* – поле при t = 30 мин; *г* – поле считывающего пучка при его возбуждении, когда был сформирован темный солитон. Нижняя часть рисунка – это зависимость расстояния между центрами провала от времени установления солитонного режима

Изображения на рис. 2 иллюстрируют некоторые результаты экспериментов. Формирующий пучок (λ = 633 нм) шириной 2 мм (FWHM) фокусировался с помощью микрообъектива *7* с увеличением 8× в волноводный слой, толщина которого составляла h = 3,5 мкм. Считывающий пучок излучения той же длины волны, что и формирующий, вводился в темную область сформированного *Y* разветвителя. На рис. 2, *а*, *б* показано, что в течение 10 мин наблюдается притяжение солитонов, вследствие нелокального отклика, вызванного изменением температуры в засвечиваемой области, в то время как рис. 2, *в* показывает отталкивание солитонов. Так как локальный показатель преломления в области между двумя близко расположенными темными солитонами понижается, то они всегда стремятся оттолкнуться друг от друга [3, 4]. Рисунок 2, *г* демонстрирует локализацию мощности считывающего пучка в сформированном *Y* разветвителе на выходной грани образца.

Эксперименты продемонстрировали, что в режиме темных солитонов в волноводном слое, образованном ионной имплантацией протонов (H^+) в кристалле $LiNbO_3$ световым полем, могут быть сформированы волноводные элементы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию МФП в НТС, грант У.М.Н.И.К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Couton G., Maillotte H., Chauvet M. Self-formation of multiple spatial photovoltaic solitons // J. Opt. B. Quantum Semiclass. Opt. 2004. Vol. 6. P. 223–230.

2. Кившарь Ю.С., Агравал Г.П. Оптические солитоны – от волоконной оптики до фотонных кристаллов. М.: Физматлит, 2005. 648 с.

3. Nikolov N.I., Neshev D., Krolikowski W. et al. Attraction of nonlocal dark optical solitons // Opt. Lett. 2004. Vol. 29. P. 286.

4. Dreischuh A., Neshev D.N., Petersen D.E. et al. Observation of Attraction between Dark Solitons // PRL. 2006. Vol. 96. P. 043901.

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В КРИСТАЛЛАХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $CDSI_{1-X}GE_XP_2$

Ю.М. Андреев, Г.В. Ланский

г. Томск, ИМКЭС СО РАН, lansky@yandex.ru

Одним из самых перспективных путей решения проблемы создания источников когерентного излучения, работающих в пределах различных участков спектра, является применение методов нелинейной кристаллооптики. Выбор нелинейных кристаллов твердых растворов

(НКТР) $CdSi_{1-x}Ge_xP_2$ в качестве объектов исследования обусловлен традиционным интересом к нелинейным кристаллам (НК), пригодным для эффективного преобразования частоты существующих лазеров ближнего ИК-диапазона с высокими энергетическими и эксплуатационными характеристиками в средний ИК-диапазон. Именно в среднем ИК-диапазоне успешно функционирует большое количество прикладных оптических систем гражданского и специального назначения, возможно создание новых перспективных систем. К их числу можно отнести лидары различного назначения для мониторинга природных и техногенных сред.

НКТР $CdSi_{1-x}Ge_xP_2$ представляют собой кристаллическую структуру, образованную сплавлением исходных кристаллов $CdSiP_2$ и $CdGeP_2$ с различным x. Группа симметрии обоих кристаллов – $\bar{4}2m$. Коэффициент тензора нелинейной восприимчивости второго порядка d_{36} для НК $CdSiP_2$ равен 53 пм/В [1], по более новым данным – 84,5 пм/В [2]; для НК $CdGeP_2$ аналогичный коэффициент составляет 100 пм/В [3]. Диапазон прозрачности исследуемых кристаллов находится в пределах 0,56–9,5 мкм [1] и 1,5–12 мкм [3] для $CdSiP_2$ и $CdGeP_2$ соответственно. Таким образом, общей привлекательной характеристикой исходных НК является диапазон прозрачности, позволяющий использовать в качестве источников накачки широко распространенные твердотельные нано- и пикосекундные лазеры и перекрывать спектром преобразованных частот основные окна прозрачности атмосферы; кроме этого, данные кристаллы имеют очень высокое значение d_{36}, что в итоге положительно сказывается на эффективности преобразования частоты. Так, для сравнения, в широко используемом кристалле $ZnGeP_2$ значение d_{36} составляет 75 пм/В. Дисперсионные зависимости показателей преломления рассматриваемых НК описываются уравнениями Сельмейера. Для кристалла $CdSiP_2$ они имеют вид [1]

$$n_o^2 = 2{,}931 + \frac{6{,}4248\lambda^2}{\lambda^2 - 0{,}1028} - 0{,}0032817\lambda^2,$$

$$n_e^2 = 3{,}4975 + \frac{5{,}5451\lambda^2}{\lambda^2 - 0{,}11713} - 0{,}0031242\lambda^2$$

для обыкновенной и необыкновенной волны соответственно.

Дла кристалла $CdGeP_2$ (20 °C) соответствующие уравнения имеют вид [4]

$$n_o^2 = 5{,}9677 + \frac{4{,}2286\lambda^2}{\lambda^2 - 0{,}2021} + \frac{1{,}6351\lambda^2}{\lambda^2 - 671{,}33},$$

$$n_e^2 = 6{,}1573 + \frac{4{,}0970\lambda^2}{\lambda^2 - 0{,}2330} + \frac{1{,}4925\lambda^2}{\lambda^2 - 671{,}33}.$$

На рис. 1, *а* представлены результаты расчета кривых синхронизма для генерации второй гармоники (ГВГ) в кристалле $CdSi_{1-x}Ge_xP_2$ с разным составом *x* по методике? описанной в [5]. Цифрами на рис. 1 помечено значение *x*, символом * отмечены кривые, рассчитанные для ГВГ второго типа взаимодействий (eo-e), все остальные кривые рассчитаны для ГВГ первого типа (oo-e). Точки вырождения для взаимодействий первого типа находятся на длине волны 5,74 мкм (*x* = 0,441), для взаимодействий второго типа – на 5,46 мкм (*x* = 0,085).

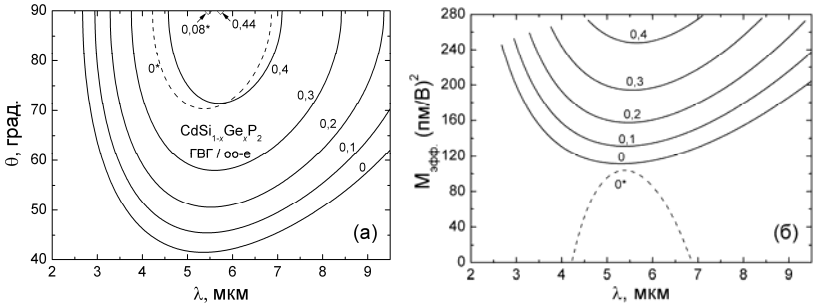


Рис. 1. Кривые синхронизма (*а*) и коэффициент качества (*б*) для кристаллов $CdSi_{1-x}Ge_xP_2$

На рис. 1, *б* представлены расчетные зависимости коэффициента качества M (пропорционально эффективности преобразования частоты):

$$M = \frac{d_{eff}^2}{n^3},$$

где $d_{eff} = d_{36}\sin\theta\sin 2\varphi$ (oo-e), азимутальный угол φ = 45°; $d_{eff} = d_{36}\sin 2\theta\cos 2\varphi$ (eo-e), φ = 0° [6].

Как видно, коэффициент качества для ГВГ eo-e типа не превышает 103 (пм/В)^2, а для ГВГ первого типа взаимодействия (oo-e) значения M увеличиваются с ростом *x*.

Таким образом, модельные исследования кристалла $CdSi_{1-x}Ge_xP_2$ с разным составом *x* позволяют сделать вывод о том, что ГВГ по первому типу взаимодействий является наиболее предпочтительной. Исходя из значения длины волны лазера накачки, можно выбрать состав кристалла *x* с целью достижения максимального значения эффективности преобразования частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schunemann P.G., Zawilski K.T., Pollak T.M. et al. New nonlinear optical crystal for mid-IR OPOs: $CdSiP_2$ // Advanced Solid-State Photonics, OSA Technical Digest Series (CD) (OSA, 2009), paper MG6.
2. Schunemann P.G., Zawilski K.T., Pollak T.M. et al. CdSiP2: A New Nonlinear Optical Crystal for 1 – and 1.5-Micron-Pumped Mid-IR Generation // Advanced Solid-State Photonics. OSA Technical Digest Series (CD) (Optical Society of America, 2009), paper TuC6.
3. Medvedkin G.A., Voevodin V.G. Magnetic and optical phenomena in nonlinear optical crystals $ZnGeP_2$ and $CdGeP_2$ // J. Opt. Soc. Am. B. 2005. Vol. 22, № 9. P. 1884–1898.
4. Bhar G.C., Ghosh G.C. Temperature-dependent Sellmeier coefficients and coherence lengths for some chalcopyrite crystals // J. Opt. Soc. Am. B. 1979. Vol. 69, № 5. P. 730–733.
5. Kato K., Takaoka E., Umemura N., Chonan T. Temperature-tuned type-2 90° phase-matched SHG of CO_2 laser radiation at 9.2714–10.5910 μm in $CdGe(As_{1-x}P_x)_2$ // CThE7. 2000. P. 295.
6. Dmitriev V.G., Gurzadyan G.G., Nikogosyan D.N. Handbook on nonlinear optical crystals. Berlin: Springer, New York: Verlag, 1991. 413 p.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ $Bi_{12}SiO_{20}$, НАВЕДЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЕМ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА

А.Н. Логвиненко, студент 5-го курса, каф. ЭП, А.С. Акрестина
г. Томск, ТУСУР, т. 413-887, logvinenko_an@sibmail.com

Облучение кристаллов класса силленитов светом из видимой области и ближней ИК-области приводит к обратимому фотоиндуцированному изменению их оптического поглощения (фотохромный эффект) [1]. Считается что это связано с перезарядкой примесных и дефектных центров с различными сечениями фотоионизации под действием света [2].

Кристаллы силиката висмута $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO), относящиеся к классу силленитов и обладающие быстрым фоторефрактивным откликом для излучения в видимой области спектра, часто используются в качестве фоточувствительной среды в динамической голографии [3].

Для реализации таких устройств важно знать параметры центров, заселенных электронами при облучении кристаллов BSO светом из видимой и ближней ИК-областей спектра.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований и аппроксимации спектральных зависимостей оптиче-

ского поглощения в кристалле силиката висмута ($Bi_{12}SiO_{20}$), наблюдаемых в исходном состоянии и после его засветки излучением лампы накаливания.

В экспериментах использовался монокристаллический образец силиката висмута толщиной d = 2,64 мм. Предварительная выдержка образца в темновых условиях составляла не менее 72 ч. Интенсивность засветки, создаваемой лампой накаливания на входной грани кристалла, составляла ~1,6 Вт/см^2. Облучение кристалла продолжалось 1 ч. Все эксперименты проводились при комнатной температуре.

Спектры пропускания кристалла $T(\lambda)$ в диапазоне 465–920 нм регистрировались на спектрофотометре СФ-56 с шагом измерения 1 нм. Они измерялись до и после облучения кристалла, а также в процессе темновой релаксации (через 1 ч после облучения). На рис. 1 точками представлены экспериментальные спектральные зависимости коэффициента поглощения $k(\lambda)$ кристалла $Bi_{12}SiO_{20}$ до облучения (*1*) и после облучения лампой накаливания (*2*).

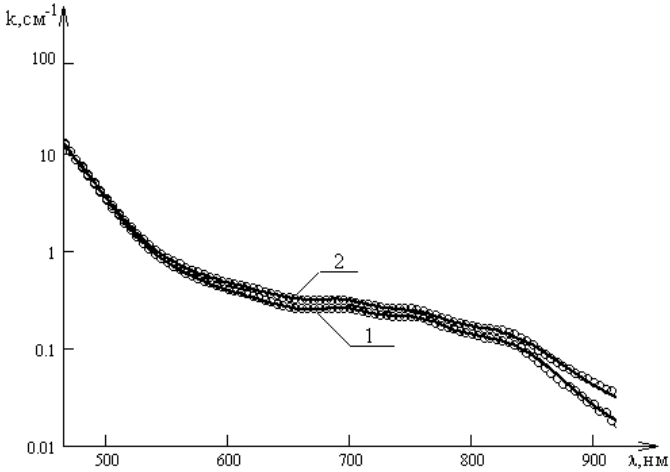


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициента поглощения в кристалле $Bi_{12}SiO_{20}$ до облучения (*1*) и после облучения лампой накаливания (*2*). Кружки – эксперимент, сплошные кривые – расчет

Из рисунка видно, что засветка кристалла $Bi_{12}SiO_{20}$ излучением от лампы накаливания приводит к увеличению коэффициента поглощения во всем исследованном диапазоне длин волн (465–920 нм).

Как известно [4], ширина запрещенной зоны кристалла $Bi_{12}SiO_{20}$ составляет 3,2 эВ, что соответствует краю собственного поглощения

на длине волны 387 нм. Поэтому наблюдаемое экспериментально оптическое поглощение (см. рис. 1) может быть связано с фотовозбуждением электронов с глубоких доноров в зону проводимости [2] и с внутрицентровыми переходами [5]. В рамках данных моделей была проведена аппроксимация экспериментальных зависимостей коэффициента поглощения, результаты которой показаны на рис. 1 сплошными линиями.

При аппроксимации были учтены четыре внутрицентровых перехода со спектральными характеристиками в виде функций Гаусса с максимумами при энергиях кванта, равных $E_v \sim 1{,}5$; 1,64; 1,77; 1,99 эВ. Для переходов электронов в зону проводимости в рамках модели [2] учитывались четыре глубоких донорных центра со средними энергиями ионизации $E_d \sim 1{,}3$; 1,91; 2,26; 2,7 эВ. Как следует из сопоставления экспериментальных данных и расчетных зависимостей, засветка кристалла $Bi_{12}SiO_{20}$ излучением от лампы накаливания приводит к увеличению оптического поглощения во всем исследуемом спектральном диапазоне. Расчеты показывают, что это может быть связано с увеличением заполнения электронами донорных уровней с энергией ионизации $E_d \sim 1{,}3$; 1,91 и 2,26 эВ. В процессе релаксации их заполнение уменьшается, и кристалл возвращается к исходному состоянию.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 08-02-99023-р_офи) и программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)».

ЛИТЕРАТУРА

1. Малиновский В.К., Гудаев О.А., Гусев В.А., Дименко С.И. Фотоиндуцированные явления в силленитах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 160 с.

2. Толстик А.Л., Матусевич А.Ю., Кистенева М.Г. и др. Спектральная зависимость фотоиндуцированного поглощения, наведенного в кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$ импульсным излучением с длиной волны 532 нм // Квантовая электроника. 2007. Т. 37, № 11. С. 1027.

3. Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992. 320 с.

4. Егорышева А.В. Край поглощения кристаллов $Bi_{12}M_xO_{20\pm\delta}$, (M = Zn, B, Ga, P, V, [Al, P], [Ga, P], [Fe, P], [Zn, V]) со структурой силленита // Ж. неорганической химии. 2005. Т. 50, № 3.

5. Шандаров С.М., Акрестина А.С., Толстик А.Л. Фотоиндуцированные изменения оптического поглощения в кристалле силиката висмута, наведенные излучением из ближнего ИК-диапазона // Материалы VII Международной научно-технической конференции «Квантовая электроника – 2008». Минск, 13–16 октября 2008 г. Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь. С. 40.

ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАННЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР В ФОТОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

А.С. Лыков, студент 5-го курса, Л.А. Кузьмина, Е.Б. Пучинина, И.С. Тонышева, студенты 4-го курса, С.Н. Шарангович, зав. каф. СВЧ и КР

г. Томск, ТУСУР, т. 8-906-954-19-88, Alykov87@ms.tusur.ru

Изучение мультиплексированных дифракционных решеток (МДР), записанных в фотополимерных материалах (ФПМ), представляет значительный интерес в связи с возможностью реализации на их основе устройств мультиплексирования оптических сигналов для многоволновых волоконно-оптических систем передачи.

Целью данной работы является экспериментальное исследование формирования и дифракционных свойств мультиплексированных дифракционных структур в ФПМ с фотоиндуцированным изменением оптического поглощения (ФИОП) в процессе последовательного углового мультиплексирования одиночных решеток.

Схема экспериментальной установки. Осуществление двухпучковой записи и дифракционных характеристик МДР осуществлялось на автоматизированной экспериментальной установке, представленной на рис. 1.

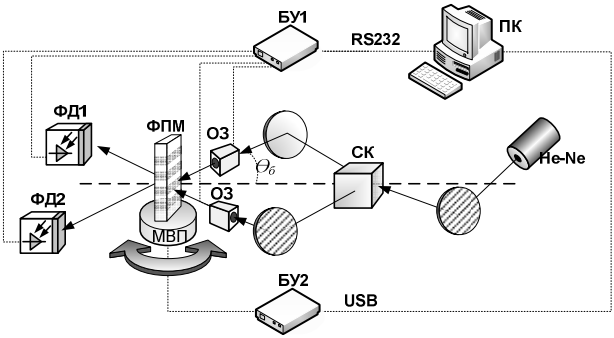


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

Структурно установка состоит из следующих элементов: образец ФПМ, на котором происходит голографическая запись МДР; He–Ne-лазер; система зеркал (З); светоделительный кубик (СК), разделяющий падающий световой пучок на два, равных по интенсивности; оптические затворы (ОЗ); моторизованная вращательная платформа (МВП), осуществляющая поворот ФПМ с точностью 1 угл. мин через заданные

промежутки времени; фотодетекторы (ФД), блоки управления (БУ), персональный компьютер (ПК).

Управление затворами ОЗ1, ОЗ2 и снятие интенсивностей световых пучков с фотодетекторов ФД1, ФД1 осуществляются блоком управления БУ1, подключенным к ПК через интерфейс RS-232, с помощью специализированного программного обеспечения (ПО).

Автоматизированное управление платформой МВП осуществляется контроллером блока управления БУ2, подключенного к ПК через интерфейс USB, и специализированного ПО.

Аналитическое моделирование. На первом этапе моделирования в среде MathCAD путем минимизации функционала отклонения теоретических зависимостей [1] кинетики дифракционной эффективности $\eta_d(t)$ и фотоиндуцированного поглощения ФПМ $\alpha(t)$ (рис. 2), угловой селективности $\eta_d(\theta)$ (рис. 3) на стационарном уровне от экспериментальных, полученных на стадии записи одиночной ДР, были определены основные параметры образца ФПМ: $n = 1{,}6$, $\delta n_p = 0{,}025$, $\delta n_i = 0{,}01$, $T_p = 2$ с, $T_m = 2$ с, d = 40,5 мкм и ДР $\Lambda = 0{,}63$ мкм, $\theta_б = 30°$, $\Delta\theta = 0{,}7°$.

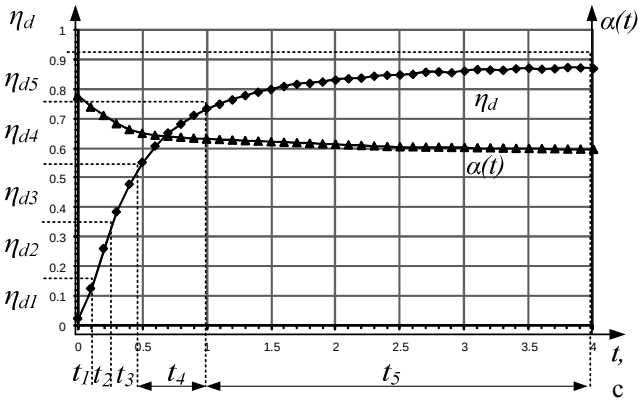


Рис. 2. Динамика формирования одиночной ДР

На втором этапе на основе модели формирования МДР в поглощающих ФПМ [1] исходя из поученных выше параметров было определено количество мультиплексированных ДР с периодом $\Lambda = 0{,}63$ мкм при заданной дифракционной эффективности η_{di} = 19%, рассчитаны кинетики их записи и найдено время записи t_i каждой из них (схематично эти параметры показаны на рис. 2).

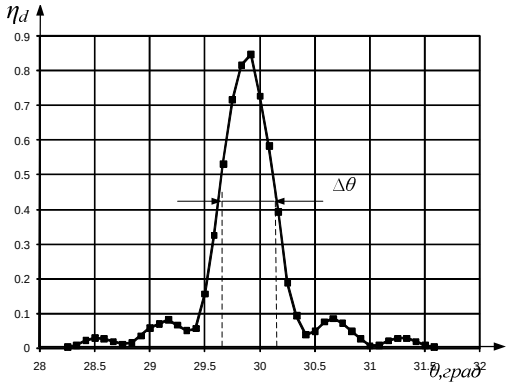


Рис. 3. Экспериментальная кривая селективности

Экспериментальное исследование. Экспериментальные исследования записи одиночных и мультиплексированных ДР в ФПМ были проведены на образцах, изготовленных в ООО «Полимерные голограммы – Новосибирск».

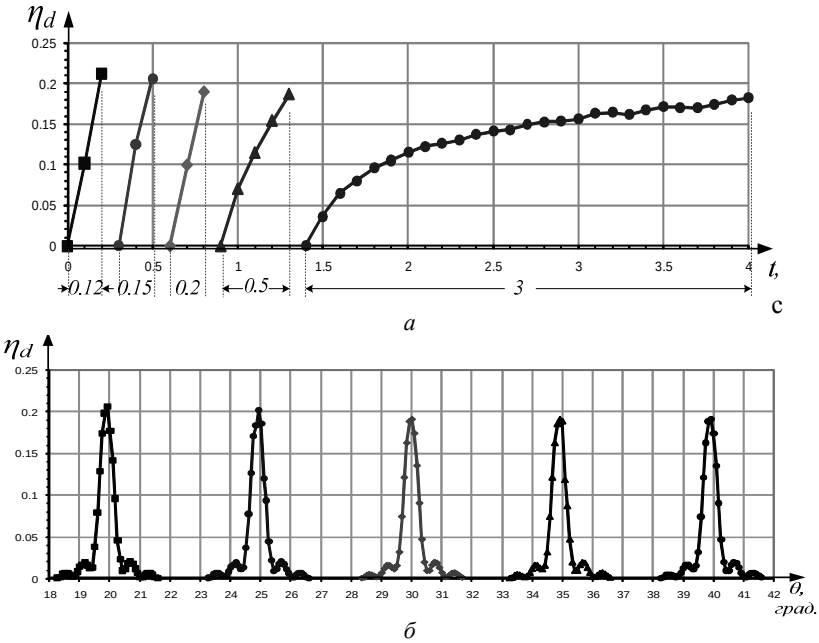


Рис. 4. Кинетики записи (*а*) и угловая селективность (*б*) МДР

Экспериментально было записано 5 мультиплексированных ДР с углом разноса 5°, дифракционной эффективностью $\eta_{di} \cong 19 \pm 2\%$ и селективностью $\Delta\theta_i \cong 0{,}71 \pm 0{,}02°$. По результатам анализа кинетик записи и селективных свойств МДР, представленных на рис. 4, были определены амплитуда и степень неоднородности профиля первой гармоники каждой из МДР с учетом ФИОП $\alpha(t)$, представленного на рис. 2. Угловая селективность и максимальный уровень дифракционной эффективности каждой из МДР отличались не более чем на 6%. Сравнение уровней боковых лепестков и форм кривых угловых селективностей МДР, полученных в эксперименте, с результатами моделирования показало хорошее согласие.

Заключение. Работа выполнена в рамках проекта РНП 2.1.1.429 программы «Развитие научного потенциала высшей школы на 2009–2010 годы».

ЛИТЕРАТУРА

1. Довольнов Е.А., Шарангович С.Н. Нелинейная модель последовательной записи наложенных голографических решеток в фотополимерных композиционных материалах с учетом самодифракции на пространственных гармониках // Оптика и спектроскопия. 2008. Т. 105, № 2. С. 336–345.

ЗАПИСЬ ГОЛОГРАММ ИЗЛУЧЕНИЕМ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ НА САМОПРОЯВЛЯЮЩИХСЯ СЛОЯХ ДИХРОМИРОВАННОГО ЖЕЛАТИНА

А.Н. Малов[1], А.В. Неупокоева[1], Ю.А. Асаенок[2], С.А. Рыбакова[2], студенты 2-го курса, каф. авиационного радиоэлектронного оборудования

[1]Иркутское высшее военное авиационное инженерное училище (военный институт), cohol2007@yandex.ru,
[2]Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, uliana16a@narod.ru

Появление источников лазерного излучения, работающих на принципе удвоения частоты с диодной накачкой и длиной волны 0,53 мкм, ставит вопрос о возможностях их использования для записи голограмм. Одним из наиболее перспективных голографических материалов является дихромированный желатин (ДЖ), который обеспечивает при записи фазовых голограмм предельно высокое значение дифракционной эффективности (ДЭ), низкий уровень шумов, высокую разрешающую способность. Для записи объемных голограмм необхо-

димы самопроявляющиеся (СП) слои ДЖ [1–3] толщиной несколько миллиметров.

Целью настоящей работы было определение энергетических параметров записи голограмм на слоях самопроявляющегося дихромированного желатина толщиной 2 мм излучением твердотельного лазера с диодной накачкой и зеленой (0,53 мкм) длиной волны.

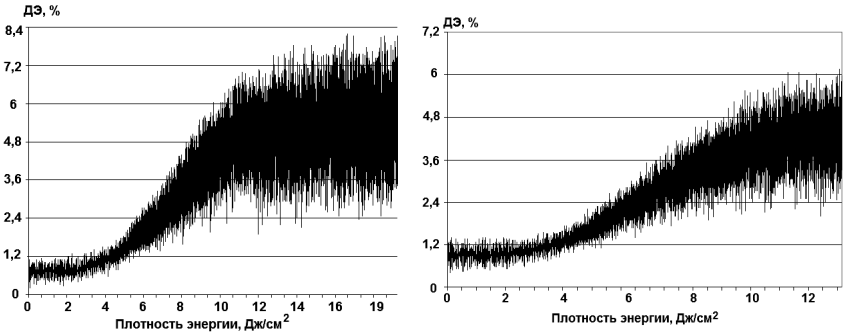
Экспериментальные результаты. Для записи голограмм использовались слои СПДЖ, которые представляли собой 5% желатиновую эмульсию с добавлением бихромата аммония (БХА) (20% по массе сухого желатина) и глицерина (100% по массе сухого желатина). Экспериментально выявлено, что нет необходимости сенсибилизировать эмульсию красителем. Голографические характеристики СПДЖ значительно улучшаются при ламинировании слоев [2], поэтому запись тест-голограмм производилась на заламинированнный двумя стеклянными пластинками слой СПДЖ толщиной около 2 мм. Время студенения эмульсии при температуре 15–17°С составляло 24 ч.

В качестве тест-голограмм записывались дифракционные решетки с пространственной частотой около 10 лин./мм, полученные в результате интерференции двух сферических волн. В качестве источника лазерного излучения применялся твердотельный лазер с диодной накачкой (типа «АТС 53-250») с длиной волны 0,53 мкм. Качество записи контролировалось по величине дифракционной эффективности (ДЭ), рассчитанной по формуле: ДЭ = $I_{дифраг}/I_{пад}$, где $I_{дифраг}$ – интенсивность пучка, дифрагировавшего на записанной решетке, а $I_{пад}$ – интенсивность падающего на решетку пучка. Экспериментальные результаты записи тест-голограмм представлены в таблице.

Зависимость ДЭ решеток с пространственной частотой 10 лин./мм от параметров режима записи на длине волны 0,53 мкм

Интенсивность пучка, мВт/см^2	Максимальное время экспозиции, мин	Максимальная энергия экспозиции, Дж/см^2	Максимальная дифракционная эффективность, %
11	30	19,8	6
11	20	13,2	5,5
11	15	10	4
8	30	14,4	3,5
6	45	16,2	менее 1

Созданная нами экспериментальная установка, позволяла зарегистрировать кинетику процесса записи в реальном времени. Графики кинетики роста ДЭ представлены на рис. 1.



а *б*

Рис. 1. Кинетика ДЭ при различных интенсивностях записи:
а – I = 11 мВт/см^2; *б* – I = 8 мВт/см^2

Анализ результатов. Экспериментально показано, что на слоях СПДЖ толщиной несколько миллиметров возможно записать голограммы излучением твердотельного лазера с диодной накачкой и длиной волны 0,53 мкм. При этом СПДЖ-эмульсию не нужно очувствлять красителем к данной длине волны. При интенсивности около 6 мВт/см^2 возникают дифракционные порядки, которые видны глазом, но при измерении их ДЭ сопоставима с ошибкой измерения и составляет менее 1%. При интенсивности менее 6 мВт/см^2 дифракционные порядки не возникают.

Таким образом, пороговая интенсивность записи составляет около 8 мВт/см^2, увеличение интенсивности приводит к увеличению скорости роста ДЭ и росту максимального значения ДЭ. Плотность энергии, при которой кривая кинетики ДЭ выходит в область насыщения, зависит от интенсивности и составляет 12–14 Дж/см^2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малов А.Н., Неупокоева А.В. Голографические регистрирующие среды на основе дихромированного желатина: супрамолекулярный дизайн и динамика записи. Иркутск: ИВВАИУ (ВИ), 2006.

2. Vigovsky Yu.N., Malov A.N., Malov S.N., Konop S.P. Photoinduced Phase Transitions in Hologram Recording in Layers of Dichromated Gelatin // Laser Physics. 1998. Vol. 8, № 4. P. 901.

3.Neupokoyeva A.V., Malov A.N., Malov S.N. Effect of Laser Annealing on the Dynamics of Hologram Recording in Self-Developed Dichromated Gelatin Layers // Laser Physics. 2009. Vol. 19, № 3. P. 414–423.

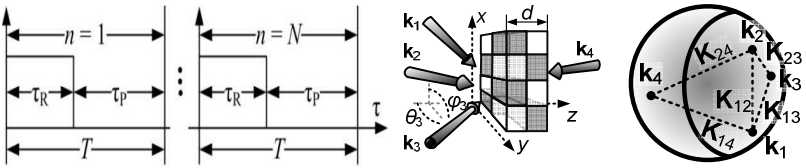
ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ МНОГОПУЧКОВОЙ ЗАПИСИ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ФОТОННЫХ СТРУКТУР В ФОТОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ

В.Г. Миргород, аспирант, С.Н. Шарангович, зав. каф. СВЧ и КР
г. Томск, ТУСУР, т. 413-643, rafinad@ms.tusur.ru

Исследование процессов формирования фотонных структур (ФС) в фотополимерных композиционных материалах (ФПКМ) на основе композиции полимерной и инертной компоненты (ЖК, наночастицы и т.д.) представляется важным в связи с большим потенциалом применения в технологии связи и хранения информации.

Целью данной работы является обобщение моделей непрерывной записи [1, 2] на многопучковую импульсную запись трехмерных голографических ФС в поглощающих ФПКМ и исследование на ее основе динамики формирования пространственно неоднородных ФС во время процессов записи и постэкспозиционного усиления (ПЭУ).

Аналитическая модель. Формирование ФС в ФПКМ в процессе импульсной многопучковой записи (рис. 1, *а*) происходит за счет фотополимеризационного и диффузионного механизмов в световой период со временем τ_R и за счет диффузионного механизма в темновой период со временем τ_P, характеризующего процессы постэкспозиционного усиления.



а *б*

Рис. 1. Временная диаграмма (*а*), схема и векторная диаграмма (*б*)

В общем случае решения уравнений записи [2] для произвольной многопучковой геометрии записи (рис. 1, *б*) представляются совокупностью наложенных неоднородных дифракционных решеток пропускающего и отражающего типов. Вследствие нелинейности процесса формирования ФС каждая из них представлена в виде суммы пространственных гармоник

$$n(\tau,\mathbf{r}) = n_0(\tau) + \sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N}\sum_{h=1}^{H} n_{ij}^{h}(\tau,\mathbf{r})\cos(h\mathbf{K}_{ij}\mathbf{r}) , \qquad (1)$$

где $i = 1\ldots N-1$; $j = i + 1\ldots N$; $h = 1\ldots H$; N, H – количество записывающих пучков и учитываемых пространственных гармоник $n_{ij}^{h}(\tau, \mathbf{r})$, каж-

дая из которых складывается из амплитуд полимерной и инертной компонент $n_{ij}^{\ h} = n^{p}_{\ ij}{}^{h} + n^{i}_{\ ij}{}^{h}$.

Результирующие выражения для амплитуд гармоник показателя преломления для темнового и светового периодов записи имеют вид

$$n_{ij}^{h}(\tau,\mathbf{r})=\begin{cases} n_{ij}^{h}(\tau_0,\mathbf{r})-\delta n_p 2\sum\limits_{l=0}^{Q} b_{v,l}^{s}(\mathbf{r})\sum\limits_{p=0}^{Q} L_{l,p}^{s}(\tau,\mathbf{r})-\delta n_i 2c_{v,v}^{s}\dfrac{D_i}{D_m}\sum\limits_{p=0}^{Q} L_{l,p}^{s}(\tau,\mathbf{r}), \\ n_{ij}^{h}(\tau_0+\tau_R,\mathbf{r})+\delta n_i/M_n\cdot\left[M_{ij}^{h}(\tau,\mathbf{r})-M_{ij}^{h}(\tau_0+\tau_R,\mathbf{r})\right], \end{cases} \quad (2)$$

где $a^{s}_{l}(\mathbf{r})$ являются компонентами матрицы $\mathbf{A}^{s}(\mathbf{r})$, характеризующей состав материала и внешние условия записи [2] на s-м шаге;

$$v = v(i, j, h) = (h - 1)G + (2\cdot N\cdot i - i^2 - i)/2 + (j - i);$$

$L^{s}_{j,p} = f^{s}_{j,p}\cdot\{1 - \exp[\lambda^{s}_{p}(\tau, \mathbf{r})\cdot(\tau - sT_p)]\}/\lambda^{s}_{p}(\tau, \mathbf{r})$; λ^{s}_{p} – собственные числа матрицы $\mathbf{A}^{s}$; коэффициенты $f^{s}_{j,p}$ находятся как решения систем линейных алгебраических уравнений, а M^{h}_{ij} – амплитуды гармоник мономера, определяемые как

$$M_0(\tau,z)=d^{-1}\int_0^d M_0(\tau_0,z)\Phi(\tau,z,z')dz',$$

$$M_{ij}^{h}(\tau,z)=M_{ij}^{h}(\tau_0,z)\cdot\exp\left[-h^2 q_{ij}^2\cdot\int_{\tau_0}^{\tau} b_m(\tau',z)d\tau'\right],$$

где $M_0(\tau = 0) = M_n$, $\tau_0 = \mathrm{floor}(\tau/\tau_R + \tau/\tau_P)\cdot(\tau_R + \tau_P) + \tau_R$ – время начала очередного импульса; d – толщина ФПКМ; $\Phi(\tau, z, z') = 1 + 2\cdot\sum_j \exp[-b_m(\tau_0, z)j^2\pi^2(\tau - \tau_0)/d^2]\cdot\cos(j\pi z'/d)\cdot\cos(j\pi z/d)$, $b_m(\tau,z) = \exp[-s(1-M_0(\tau, z)/M_n)]$; s – параметр фотоиндуцированного изменения коэффициента диффузии.

Таким образом, решения (1), (2) определяют динамику развития пространственных профилей гармоник полимерной и инертной наложенных решеток при импульсной многопучковой голографической записи дифракционных структур и являются математической основой для исследования и оптимизации процесса формирования сложных фотонных структур в поглощающих ФПМ.

Моделирование процессов записи. Целью численного моделирования являлось исследование влияния процессов постэкспозиционного усиления на динамику формирования амплитуд различных гармоник.

На рис. 2, *а*, *б* приведены амплитуды первых гармоник показателя преломления в режиме импульсной записи. За счет процессов поглощения в ФПМ и полимеризационно-диффузионных процессов амплитудный профиль n^{1}_{12} для пропускающей решетки (см. рис. 2, *а*) трансформируется от спадающего на малых глубинах до монотонно возрастающего на больших глубинах, в то время как профиль n^{1}_{24} для отражающей решетки всегда локализован в центре ФПКМ (см. рис. 2, *б*).

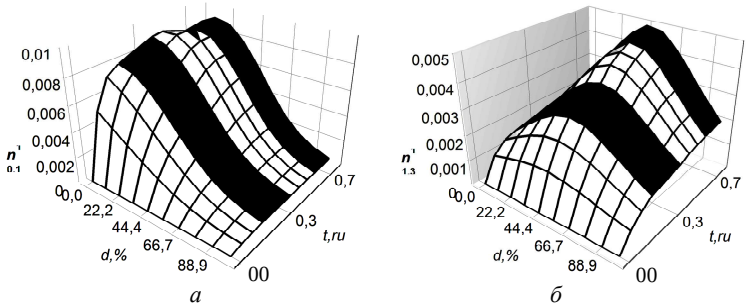


Рис. 2. Кинетики амплитудных профилей различных гармоник

Для обеих решеток наблюдается постэкспозиционное усиление амплитуд гармоник. На рис. 3 представлены расчеты интегральных коэффициентов усиления (КУ) для трех гармоник отражательных и пропускающих решеток исследуемой геометрии записи ФС (см. рис. 1, *б*).

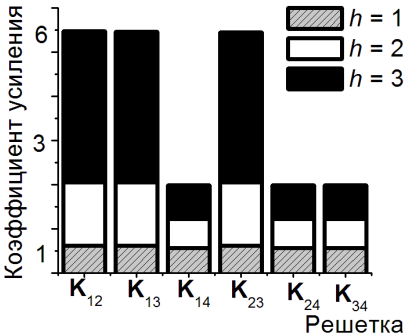


Рис. 3. Коэффициент усиления

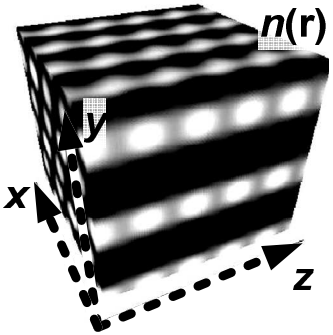


Рис. 4. Показатель преломления

Возрастание КУ высших гармоник связано с уменьшением времени диффузии мономера $T_m \propto 1/h^2$ с ростом номера гармоники h при фиксированном времени τ_P темнового периода. Следует также отметить различие КУ отражательных (с векторами $\mathbf{K}_{14}$, $\mathbf{K}_{24}$, $\mathbf{K}_{34}$) и пропускающих (с векторами $\mathbf{K}_{12}$, $\mathbf{K}_{13}$, $\mathbf{K}_{23}$) решеток.

Результирующее 3D-распределение $n(\mathbf{r})$ ФС показано на рис. 4.

Таким образом, при импульсной записи за счет ПЭУ возможно уменьшение степени неоднородности ФС вызванное оптическим поглощением. Работа выполнена в рамках проекта РНП 2.1.1.429 «Развитие научного потенциала высшей школы на 2009–2010 годы».

ЛИТЕРАТУРА

1. Миргород В.Г., Шарангович С.Н. Аналитическая модель формирования фотонных структур в фотополимерных композитах с учетом фотоиндуцированных эффектов // Материалы докл. Всерос. науч.-техн. конф. «Научная сессия ТУСУР–2008»: В 5 ч. Ч. 1. Томск: В-Спектр, 2008. С. 206–208.

2. Миргород В.Г., Шарангович С.Н. Оптимизация формирования трехмерных фотонных структур в фотополимерных композиционных материалах // Известия вузов. Физика. 2008. Т. 51, № 9/3. С. 165–166.

СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА НА ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ ГОЛОГРАММ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ С ПОМОЩЬЮ ИММЕРСИОННОГО СЛОЯ

Д.В. Фролов, студент 3-го курса, А.Н. Парханюк, студент 4-го курса

г. Томск, ТУСУР, т. 413-911

В нелинейной оптике в настоящее время проявляется особый интерес к формированию дифракционных и волноводных элементов в фоторефрактивных кристаллах ниобата лития ($LiNbO_3$) [1]. При их индуцировании когерентным излучением возникает проблема формирования паразитных структур вследствие отражения света от границ раздела «кристалл – покровная среда». Для исключения переотражения света применяют просветляющие покрытия, однако в реальных экспериментах это не всегда удобно, если образцы проходят термическую или химическую обработку. Целью данной работы является исследование возможности снижения влияния переотражения света на формирование фоторефрактивных элементов в $LiNbO_3$ за счет использования иммерсионных слоев в системе «кристалл – иммерсионный слой – диэлектрик – окружающая среда».

Интенсивность отраженной световой волны на границе раздела диэлектрических сред при нормальном падении определяется известным соотношением Френеля

$$I_{\text{отр}} = I_{\text{пад}} \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2,$$

где $n_{1,2}$ – показатели преломления сред. В системе «$LiNbO_3$ – воздух» $I_{\text{отр}} \approx 0{,}14 I_{\text{пад}}$ (необыкновенный показатель преломления $LiNbO_3$ $n_e = 2{,}2$). Для снижения коэффициента отражения можно использовать жидкости, что позволит довести его величину до (2÷3)%. В качестве справки в табл. 1 приведены значения показателей преломления некоторых веществ.

На рис. 1 представлена схема эксперимента. В качестве источника когерентного излучения использовался гелий-неоновый лазер (длина волны излучения $\lambda = 633$ нм) с выходной мощностью ~1 мВт. Исследуемая структура включала пластину $LiNbO_3$ Y среза толщиной 3 мм и стеклянную пластину толщиной 3 мм с зазором между ними, заполненным иммерсионной жидкостью. Толщина зазора составляла около 0,1 мм. В качестве иммерсионных жидкостей использовались вода, глицерин и косметический гель. Исследуемая структура размещалась на столике с микрометрической подвижкой, поляризация света в ниобате лития соответствовала необыкновенной волне. В экспериментах измерялась мощность светового пучка, прошедшего через пластину $LiNbO_3$ и через структуру «$LiNbO_3$ – иммерсия – стекло». В измерениях использовался фотодиод ФД-24К, характеризующийся высокой линейностью зависимости фототока от интенсивности света. Для исключения погрешностей измерения проводились не менее шести раз в различных точках структуры.

Таблица 1

Показатели преломления веществ

Среда	Показ. преломления
Воздух (при обычных условиях)	1
Вода	1,33
Глицерин	1,47
Бензол	1,5
Нитробензол	1,53
Ацетон	1,37
Йодистый метилен	1,76
Спирт этиловый	1,36

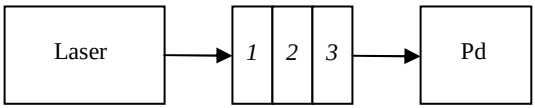


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: Laser – гелий-неоновый лазер; *1* – стекло; *2* – иммерсионная жидкость; *3* – кристалл ниобата лития; Pd – фотодиод

Мощность излучения, прошедшего через обсуждаемую оптическую систему, в случае пренебрежения эффектами многократного отражения света от границ каждого из слоев, рассчитывалась по формуле

$$P = P_0 \cdot \left[1-\left(\frac{n_1-n_4}{n_1+n_4}\right)^2\right] \cdot \left[1-\left(\frac{n_1-n_2}{n_1+n_2}\right)^2\right]\left[1-\left(\frac{n_2-n_3}{n_2+n_3}\right)^2\right]\left[1-\left(\frac{n_2-n_4}{n_2+n_4}\right)^2\right], \quad (1)$$

где P – мощность излучения, прошедшего через оптическую систему; P_0 – мощность излучения, падающего на оптическую систему; n_1 – показатель преломления ниобата лития; n_2 – показатель преломления иммерсионной жидкости; n_3 – показатель преломления стекла; n_4 – показатель преломления воздуха.

Исходя из (1), получена зависимость оптического пропускания подобной системы от показателя преломления жидкости (рис. 2).

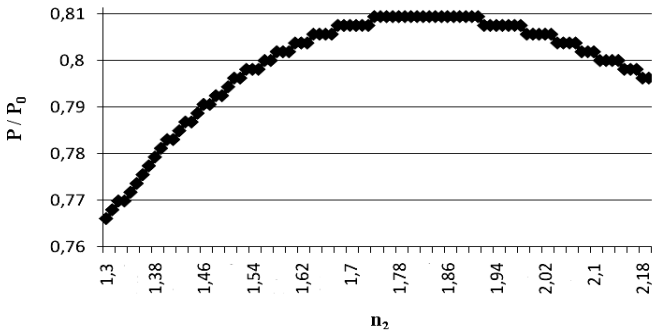


Рис. 2. Зависимость оптического пропускания структуры от показателя преломления иммерсионной жидкости

Результаты измерений фототока для разных иммерсионных материалов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты эксперимента

Вещество	Фототок
Воздух	0,53
$LiNbO_3$	0,390
$LiNbO_3$/глицерин/стекло	0,397
$LiNbO_3$/вода/стекло	0,395
$LiNbO_3$/гель/стекло	0,401

Таким образом, экспериментальные исследования показали возможность снижения отражения света в исследуемой структуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992.
2. Основы оптики: Пер. с англ. / М. Борн, Э. Вольф; пер.: С.Н. Бреус, А.И. Головашкин, А.А. Шубин; ред. пер.: Г.П. Мотулевич. М.: Наука, 1970.

ТРАНСФОРМАЦИЯ АМПЛИТУДНЫХ ПРОФИЛЕЙ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ФАБРИ-ПЕРО

А.С. Перин, С.М. Козлова, студенты 3-го курса, СВЧ и КР

г. Томск, ТУСУР, pasper@sibmail.com.

Моделирование и преобразование профилей световых пучков представляет существенный интерес с точки зрения реализации разного рода нелинейно-оптических экспериментов. Таким образом, задача трансформации профилей гауссовых лазерных пучков представляется весьма актуальной. Для этого могут использоваться как дифракционные оптические элементы, так и электрически управляемые пространственные модуляторы света [1, 2]. Целью данной работы является компьютерное моделирование и экспериментальное исследование трансформации амплитудного профиля гауссова пучка с помощью фоторефрактивных нелинейных интерферометров Фабри-Перо на основе кристаллов ниобата лития ($LiNbO_3$) с поверхностью, легированной фоторефрактивными примесями (Fe и Cu).

Математическая интерпретация. Выражение для выходной интенсивности света в интерферометре Фабри-Перо [2]:

$$I_{\text{вых}} = \frac{I_{\text{вх}}(1-R^2)}{1+R^4-2R^2\cos(2kL\cdot\cos\theta)}, \qquad (1)$$

где входная интенсивность равна:

$$I_{\text{вх}} = I_0 \exp\left[\frac{X^2+Y^2}{\omega^2}\right], \qquad (2)$$

а k равно:

$$k = k_0 n = n_{(0)} - AI(X,Y). \qquad (3)$$

Результат моделирования. Представленные ниже поверхности отображают эффект трансформации (при различных значениях исходных данных) распределения интенсивности светового пучка, проходящего через нелинейный интерферометр Фабри-Перо.

Рис. 1–3 приведены для керровского распределения, но в последующем моделировании будет учтено фоторефрактивное распределение с интенсивностью насыщения.

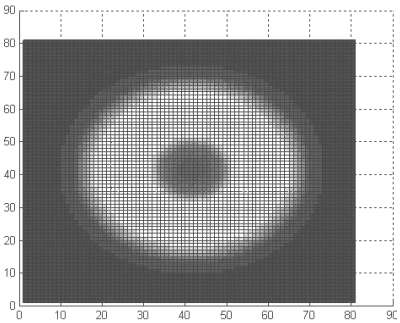


Рис. 1. Распределения интенсивности светового пучка при R = 0,5; $A_0 = 0$

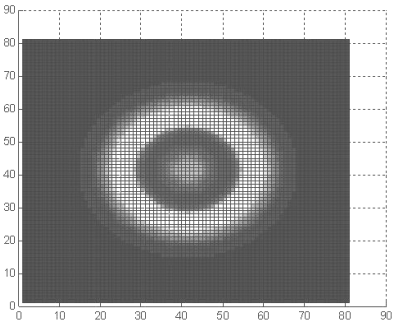


Рис. 2. Распределения интенсивности светового пучка при $R = 0{,}5$; $A_0 = 5$

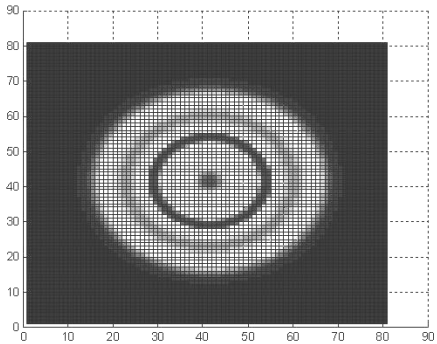


Рис. 3. Распределения интенсивности светового пучка при $R = 0{,}5$; $A_0 = 15$

Схема эксперимента. Схема экспериментов поясняется рис. 4. Здесь излучение твердотельного лазера с длиной волны $\lambda = 532$ нм и мощностью около 5–10 мВт в виде светового пучка с диаметром около 0,5 мм или пучка с эллиптическим сечением и размерами 0,5×3 мм^2 проходит через пластину $LiNbO_3$ Y среза (LN) толщиной 1–1,5 мм в направлении нормали к ее плоскости. Поляризация света соответствует необыкновенной волне в кристалле. Поле прошедшего светового пучка изучается с помощью видеокамеры (CCD), сопряженной с персональным компьютером (PC).

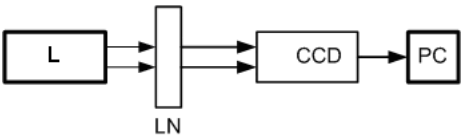


Рис. 4. Схема эксперимента: L – лазер; LN – пластина ниобата лития; CCD – видеокамера; PC – персональный компьютер

Приповерхностная область пластины LN легирована комбинацией ионов железа (Fe) и меди (Cu) путем последовательной термической диффузии. Диффузия проводилась при температуре 1000 °С для Fe и 900 °С для Cu. Глубина диффузии Fe составляет в разных образцах от 20 до 50 мкм, а Cu – от 50 до 200 мкм. В результате легированная область приобретала фоторефрактивные свойства, т.е. становилась фоточувствительной. Время экспонирования образцов лазерным лучом составляло от 1 мин до 10–20 мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шандаров В.М. Основы физической и квантовой оптики. Томск: ТУСУР, 2005. 258 с.

2. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. М.: Мир, 1987. 616 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНОЙ ФОТОННОЙ РЕШЕТКИ В КРИСТАЛЛЕ $LiNbO_3$:Cu НЕКОГЕРЕНТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Е.А. Пешкова, К.А. Крицкая, студентки 4-го курса

г. Томск, ТУСУР, т. 413-911

В последнее время значительный интерес привлекается к многоэлементным системам связанных оптических волноводов (фотонным решеткам), формируемым в фоторефрактивных кристаллах методами оптического индуцирования [1]. К числу подобных кристаллов относится и ниобат лития ($LiNbO_3$), легированный ионами некоторых элементов (например, железа или меди). Перспективными для долговременного хранения информации являются кристаллы $LiNbO_3$:Cu, однако их фоторефрактивная чувствительность для типичных длин волн лазерного излучения (633 и 532 нм) оказывается сравнительно низкой. Это связано с глубоким залеганием соответствующих ионам меди донорных уровней в запрещенной зоне ниобата лития, в сравнении с таковыми для ионов железа. Поэтому для формирования фоторефрактивных решеток в кристаллах $LiNbO_3$:Cu необходимо использование более коротковолнового излучения. Целью данной работы является исследование возможности формирования одномерных фотонных решеток в кристалле $LiNbO_3$:Cu излучением светодиода с длиной волны $\lambda = 455$ нм.

Фотонные решетки формировались контактным и проекционным методами. Первый заключался в размещении амплитудного транспаранта (фотошаблона) на полированной поверхности исследуемого образца и экспонировании этой системы излучением светодиода с цен-

тральной длиной волны 455 нм (мощность излучения ~100 мВт). В проекционном методе изображение транспаранта проецировалось на поверхность кристаллического образца с помощью цилиндрической линзы с фокусным расстоянием F = 50 мм. Данная схема давала возможность изменения масштаба изображения путем изменения расстояния между транспарантом и линзой (a) и между линзой и поверхностью образца (d). Соотношение размеров объекта и его изображения в такой схеме, как известно, определяется формулой тонкой линзы [2]:

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{a}+\frac{1}{d}. \qquad (1)$$

Время экспонирования изменялось в экспериментах от 30 до 60 мин, амплитудный транспарант имел вид периодической структуры с периодом 0,5 мм (окно – 150 мкм, экран – 350 мкм).

На рис. 1 представлена экспериментальная схема, соответствующая реализации контактного метода формирования фотонной решетки. Оптическая система (ОС) представляла собой однолинзовый конденсор, формирующий почти параллельный световой пучок с диаметром ~30 мм из сильно расходящегося излучения светодиода.

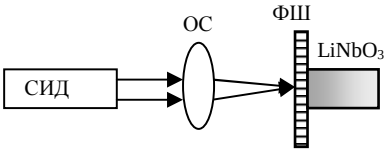
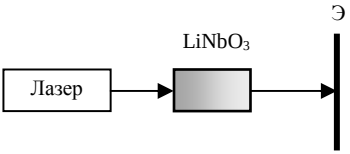


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для формирования фотонной решетки контактным методом: СИД – светоизлучающий диод; ОС – оптическая система; ФШ – фотошаблон; $LiNbO_3$ – кристалл ниобата лития

Для исследования сформированных фотонных решеток использовалась экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 2.

Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования сформированной фотонной решетки в кристалле ниобата лития: Э – экран



В качестве источника излучения здесь использовался гелий-неоновый лазер. Его излучение с длиной волны 633 нм, попадая на сформированную в кристалле решетку, дифрагирует на ней, а дифрагированное световое поле на экране позволяет получить информацию о реальном пространственном периоде сформированной структуры,

о величине изменения показателя преломления в ее области, о скорости стирания индуцированной фотонной решетки за счет конечной темновой проводимости кристалла или вследствие его специального освещения.

В экспериментах отрабатывались методики контактного и проекционного индуцирования фотонных решеток в кристалле $LiNbO_3$:Cu (0,03 вес. %) с размерами 8×6×8 мм^3 по осям *X*, *Y*, *Z*. После формирования фотонных решеток на экране наблюдались картины дифракции света на них и измерялись угловые расстояния между соседними дифракционными максимумами. Так, в схеме проекционного формирования расстояние между соседними максимумами было равным 5 мм при расстоянии от поверхности кристалла до экрана 170 см. Это отвечало периоду сформированной структуры 214 мкм, что близко к ее расчетному значению, исходя из параметров оптической схемы.

Таким образом, экспериментальные исследования показали возможность формирования одномерных фотонных решеток в кристалле $LiNbO_3$:Cu излучением светодиода с длиной волны λ = 455 нм.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 06-02-39017).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кившарь Ю.С., Агравал Г.П. Оптические солитоны – от волоконной оптики до фотонных кристаллов. М.: Физматлит, 2005. 648 с.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В ОДНОМЕРНЫХ ФОТОННЫХ СВЕРХРЕШЕТКАХ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ

С.В. Сандаков, А.А. Плахута, студенты 4-го курса
г. Томск, ТУСУР, т. 413-911

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]. Значительный интерес представляют оптически индуцированные одномерные и двумерные фотонные решетки в фоторефрактивном ниобате лития [3, 4], легированном ионами железа или меди. Целью данной работы явилось экспериментальное исследование поведения световых пучков в оптически индуцированных одномерных фотонных сверхрешетках (ФСР), являющихся модулированными одномерными фотонными решетками.

Сверхрешетки формировались в образце $LiNbO_3$:Fe (0,05 вес. %) с размерами 10×5×10 мм^3 вдоль осей *X*, *Y*, *Z*. Для этого голографическим методом [4] в нем последовательно записывались две одномерные фоторефрактивные решетки с отношением их пространственных периодов от 1:2 до 1:4. Запись осуществлялась лазерным излучением с дли-

ной волны λ = 532 нм. Пространственный период базовых решеток составлял от 8 до 12 мкм, волновые векторы решеток были параллельными оптической оси кристалла (ось *Z*).

В процессе записи периодически измерялась дифракционная эффективность формируемой решетки (рис. 1), по величине которой оценивалось изменение показателя преломления в возмущенной области, достигающее для необыкновенно поляризованного света 10^{-4}.

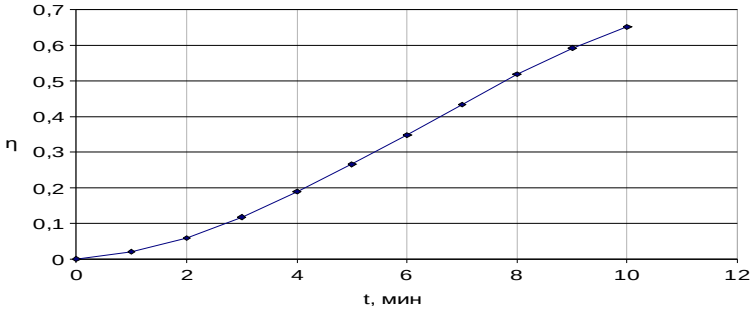


Рис. 1. Зависимость дифракционной эффективности от времени экспозиции

На рис. 2 представлена схема экспериментов по исследованию полученных ФСР. Коллимированный луч гелий-неонового лазера (λ = 633 нм) фокусировался линзой (МО) на входную плоскость образца, размещенного на вращающемся столике. Поляризация света соответствует необыкновенной волне для использования электрооптического коэффициента r_{33}. Фокусное расстояние линзы (МО) менялось от 10 до 120 мм. Линза (IL) проецирует изображение выходной грани кристалла на видеокамеру.

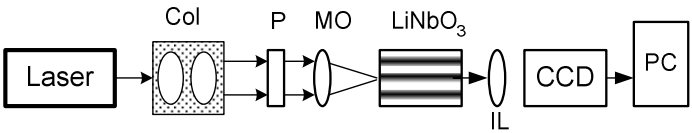


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования ФСР:
Col – коллиматор; P – поляризатор; MO – фокусирующая линза; IL – изображающая линза; CCD – ПЗС-видеокамера; PC – персональный компьютер

Для полученных ФСР исследовались угловые зависимости их оптического пропускания, величина которого существенно снижается при распространении света в брэгговских направлениях. На рис. 3 приведена такая зависимость для ФСР с периодами базовой и модулирующей решеток 8 и 24 мкм. Четыре минимума пропускания ФСР указывают на двойную периодичность ее структуры.

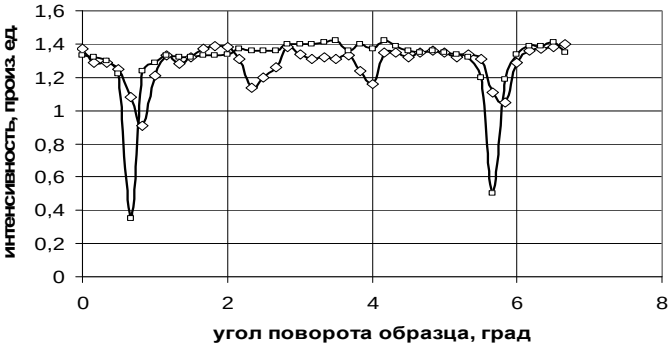


Рис. 3. Угловая зависимость пропускания света для ФСР с пространственными периодами базовой и модулирующей решеток 8 и 24 мкм

Изображения на рис. 4 соответствуют распределениям интенсивности света на выходной плоскости кристалла с упомянутой ФСР и иллюстрируют различие ее структуры в разных областях. При формировании ФСР оптически модулировалась лишь часть базовой структуры, что позволило исследовать отдельно ее немодулированную часть (левое изображение в верхнем ряду), модулированную область (правое изображение в верхнем ряду) и на нижних двух изображениях видно возбуждение света в одном волноводном канале.

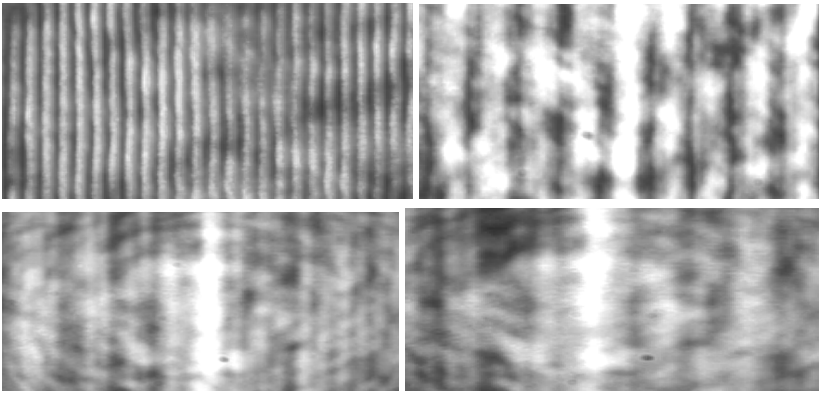


Рис. 4. Распределения интенсивности на выходной плоскости кристалла для разных областей структуры

Исследование дифракции света в рассматриваемых сверхрешетках показало, что картины дискретной дифракции, в отличие от случая периодических фотонных решеток, существенно зависят от номера возбуждаемого элемента структуры.

Таким образом, экспериментальные исследования оптически индуцированных сверхрешеток в фоторефрактивных кристаллах ниобата лития позволили выявить особенности их структуры и некоторые особенности дискретной дифракции света в таких системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Christodoulides D.N., Joseph R.I. // Opt. Lett. 1988. № 13. P. 794.
2. Lederer F., Silberberg Y. // Opt. & Photon. News. 2002. № 2. P. 48.
3. Neshev D., Ostrovskaya E., Kivshar Yu., Krolikowski W. // Opt. Lett. 2003. № 28. P. 710.
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.

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ НА ПЕРИОДИЧЕСКИХ ДОМЕННЫХ СТРУКТУРАХ, СФОРМИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ В ПЛАНАРНОМ ВОЛНОВОДЕ $LiNbO_3$:Ti

В.В. Щербина, студент 5-го курса, каф. ЭП,
М.В. Бородин, аспирант каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, vesta-87@mail.ru, crypter@ed.tusur.ru

Эффективность нелинейных оптических процессов, возникающих за счет взаимодействия волн с разными частотами, ограничивается дисперсией [1]. Волны с различными частотами в нелинейном процессе распространяются с разными фазовыми скоростями, ограничивая тем самым эффективность передачи энергии длиной когерентности, т.е. расстоянием, на котором обобщенная разность фаз между световым полем и нелинейной поляризацией среды достигает значения π. При квазисинхронизме эффективность передачи энергии достигается выбором размера среды распространения волн с учетом пространственной модуляции одного из параметров взаимодействия, что делает возможным последовательную корректировку фазовой расстройки. Для процессов генерации оптических гармоник параметром, который модулируется, является нелинейная электрическая восприимчивость. Такую модуляцию можно получить, используя периодические доменные структуры (ПДС) [2]. В данной работе представлены результаты исследований генерации второй гармоники (ГВГ) на периодических доменных структурах в планарном волноводе $LiNbO_3$:Ti.

Экспериментальное исследование генерации второй гармоники на периодических доменных структурах в планарном волново-

де $LiNbO_3$:Ti. Волновод был сформирован напылением титана на *Y*-срез подложки с последующей диффузией при температуре около 1050 °С. Он обеспечивал распространение вдоль оси *x* кристалла ТЕ-мод от двух на длине волны λ = 1064 нм до пяти при λ = 526,5 нм. Для ввода и вывода лазерного излучения с λ = 526,5, 532, 633, 1053 и 1064 нм использовались призмы из рутила. Из измерений эффективных показателей преломления было получено, что для ГВГ при накачке с λ = 1053 нм и взаимодействии $TE_1+TE_1 \rightarrow TE_1$ в режиме фазового квазисинхронизма необходима доменная структура с периодом 7 мкм. Методом прямого экспонирования электронным пучком в одном из волноводов было сформировано 15 ПДС, идентичных по периоду (7,0 мкм) и по поперечным размерам (700×700 мкм^2). Они располагались вдоль оси *x* в два ряда, в одном из которых движение электронного луча при синтезе происходило в направлении +*z*, в другом – в направлении –*z*.

Установлено, что оптическая однородность структур определяется направлением движения электронного луча при их синтезе.

Была рассчитана зависимость эффективности ГВГ при распространении пучка накачки с длительностью импульсов 10 нс и длиной волны λ = 1053 нм, вводимом в планарный волновод на моде TE_1 от энергии лазерных импульсов (рис. 1). Исходная волна была преобразована в оптическое излучение с λ = 526,6 нм, распространяющееся в волноводе как мода TE_3.

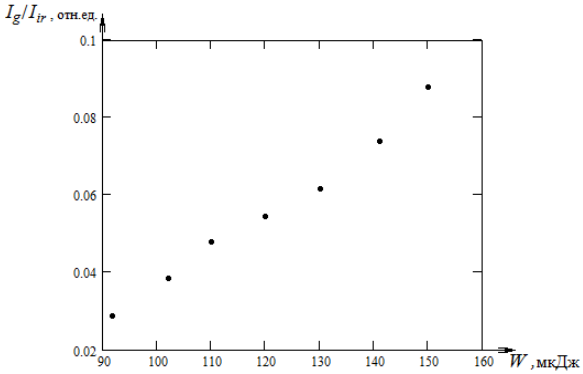


Рис. 1. Зависимость эффективности генерации второй гармоники от энергии лазерных импульсов

Максимальная эффективность ГВГ, составляющая 8,8%, была получена для процесса $TE_1 + TE_1 \rightarrow TE_3$ в ПДС с высокой однородностью, однако эти структуры очень слабо визуализируются при ГВГ. Напротив, при малой эффективности ГВГ на структурах с плохой од-

нородностью они хорошо визуализируются как при ГВГ, так и при распространении вдоль данного ряда ПДС волноводных пучков с низкой интенсивностью (рис. 2). Кроме того, на данных структурах наблюдалась ГВГ по механизму Вавилова–Черенкова.

На рис. 2 вторая гармоника генерируется на 4 структурах, но с разной эффективностью. Это может происходить за счет сильного рассеяния луча накачки на дискретных доменных структурах. Здесь же наблюдается Черенковское излучение в объем для второй гармоники с *TM*-поляризацией, которое связано с неоднородностью этих структур.

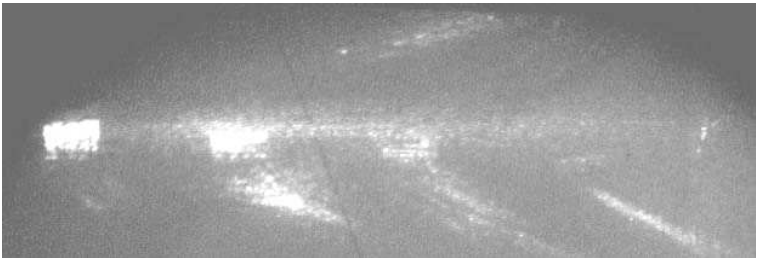


Рис. 2. Фотография излучения второй гармоники, генерируемой волной накачки с длиной волны 1053 нм на четырех ПДС, созданных методом прямого экспонирования в оптическом волноводе $LiNbO_3$:Ti на *Y*-срезе

Из расчетов интегралов перекрытия мод [3] при ГВГ в исследованном планарном волноводе Ti:$LiNbO_3$, поддерживающем распространение двух *TE*-мод в ближнем ИК-диапазоне и пяти *TE*-мод в зеленой области спектра, установлено, что наблюдаемый максимум эффективности для процесса $TE_1 + TE_1 \rightarrow TE_3$ связан с формированием доменных решеток на глубине ~ 8 мкм от поверхности.

Таким образом, были проведены экспериментальные исследования по генерации второй гармоники на периодических доменных структурах в волноводе $LiNbO_3$:Ti. Теоретический анализ позволил оценить по полученному максимуму эффективности ГВГ для процесса $TE_1 + TE_1 \rightarrow TE_3$ глубину локализации ПДС.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 08-02-99023-р_офи) и программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)». Авторы благодарят Л.С. Коханчик за изготовление ПДС и С.М. Шандарова за постановку задачи и консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fejer M.M., Magel G.A., Jundt D.H., Byer R.L. // Quasi-Phase-Matched Second Harmonic Generation:Tuning and Tolerances // IEEE J. of Q.E. 1992. Vol. 28, № 11. P. 2631–2654.

2. Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Калимуллин Р.И. Индуцированные домены и периодические доменные структуры в электро- и магнитоупорядоченных веществах // УФН. 2000. Т. 170. С. 697–712.

3. Stegeman G.I., Seaton C.T. Nonlinear integrated optics // J. App. Phys. 1985. Vol. 58, № 12. P. 57–77.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИНДУЦИРОВАННИЯ МАЛОЭЛЕМЕНТНЫХ ВОЛНОВОДНО-ОПТИЧЕСКИХ СТРУКТУР В НИОБАТЕ ЛИТИЯ

К.С. Швец, студент 6-го курса, СВЧ и КР

г. Томск, ТУСУР, т. +7-906-199-91-70, Spets@sibmail.com

С момента создания лазера он стал стремительно внедряться в науку и технику, а вместе с развитием лазерных технологий стало проводиться все больше исследований в области нелинейной оптики. Эффекты нелинейной оптики находят применение в информационных технологиях для записи, передачи и хранения информации. Также, наряду с этим, обширному исследованию подлежит эффект фоторефракции. Одним из материалов, обладающих фоторефрактивными свойствами, является кристалл ниобата лития [1]. Его показатель преломления может изменяться под воздействием света. Используя данный эффект, можно сформировать реконфигурируемые оптические элементы, которые могут применяться при создании оптически управляемых элементов и пассивных планарных дифракционных структур для преобразования профилей световых пучков [2]. Целью данной работы является исследование возможности и методов формирования оптически индуцированных, одномерных, волноводно-оптических непериодических структур.

В экспериментах использовались волноводно-оптические структуры, оптически индуцированные в кристаллах ниобата лития, легированного фоторефрактивными примесями. Одномерные фотонные решетки формировались в объемных кристаллах $LiNbO_3$:Fe и $LiNbO_3$:Cu при помощи контактного и проекционного методов [3]. Контактный метод заключался в том, что луч твердотельного лазера (λ = 532 нм, P = 50 мВт), проходя сквозь маску с узкими полосами пропускания света, попадает на образец, причем расстояние между решеткой и образцом делается минимальным. Недостатком данного метода является то, что луч, пройдя через решетку, дифрагирует, поэтому изменение показателя преломления в поперечном направлении в объеме будет отличаться от задаваемого топологией маски. В проекционном методе изображение решетки формируется на поверхности образца с помощью изображающей линзы. Это делает возможным изменение масштаба проецируемого на образец изображения.

На рис. 1 представлена схема лабораторного макета для исследования полученных волноводно-оптических структур. Световой пучок гелий-неонового лазера (λ = 633 нм, $P \approx$ 1мВт, $d \approx$ 0,5мм), пройдя сквозь оптический фильтр *2*, фокусируется линзой *3* до размера, сравнимого с толщиной оптического волновода. Кристалл расположен на столике с подвижкой, позволяющем поочередно возбуждать разные волноводные элементы. Изображение выходной грани кристалла формируется на ПЗС-камере *4* и выводится на экран монитора персонального компьютера *5*.

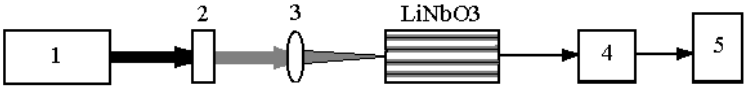
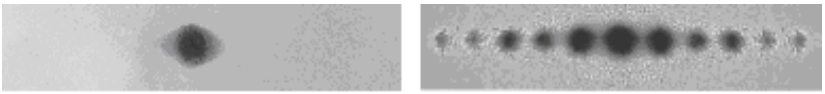


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования распространения света в волноводно-оптической структуре: *1* – He–Ne-лазер; *2* – оптический фильтр; *3* – фокусирующая линза; *4* – ПЗС-видеокамера; *5* – персональный компьютер

После индуцирования волноводно-оптических структур они исследовались путем дифракции света при его распространении в направлении нормали к экспонированной поверхности. На рис. 2 приведены дифракционные картины до формирования волноводной структуры (см. рис. 2, *а*) и после (см. рис. 2, *б*). Параметры полученной структуры: толщина структуры 2 мм, расстояние между элементами и ширина каждого элемента структуры составили 150 мкм.



а *б*

Рис. 2. Результаты формирования волноводно-оптических структур контактным методом: *а* – результат до формирования; *б* – после

На рис. 3 представлены результаты эксперимента по индуцрованию малоэлементных волноводно-оптических структур в ниобате лития проекционным методом. При исследовании структур свет распространялся в направлении, параллельном экспонированной поверхности. Картины соответствуют дифракции пучка в однородной области и при его возбуждении в разных элементах структуры.

Результаты проведенных исследований подтвердили возможность оптического индуцирования волноводно-оптических структур периодической и непериодической конфигурации в фоторефрактивном ниобате лития когерентным излучением с использованием контактной и проекционной схем.

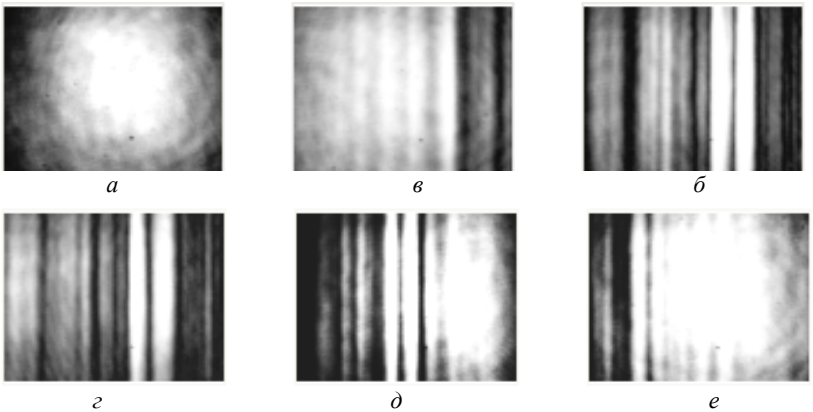


Рис. 3. Результаты исследования оптически индуцированных проекционным методом малоэлементных волноводных структур;
а – световой пучок в однородной области;
б, *д*, *е* – граница оптической неоднородности; *в*, *г* – оптические волноводы

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 06-02-39017).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурзадян Г.Г., Дмитриев В.Г., Никогосян Д.Н. Нелинейно-оптические кристаллы. Свойства и применение в квантовой электронике. М.: Радио и связь, 1991. 160 с.

2. Каншу А.В., Шандаров В.М. Исследование фазовых элементов и периодических волноводных структур, формируемых некогерентным излучением в фоторефрактивном ниобате лития // Известия вузов. Физика / Том. гос. ун-т. 2006. Т. 49, № 9. С. 137–141.

3. Гусев А.В., Каншу А.В., Шандарова К.В. и др. Дискретная дифракция света в объемных и планарных фотонных сверхрешетках, оптически индуцированных в фоторефрактивном ниобате лития // Известия вузов. Физика. 2008. Т. 51, № 9. С. 6.

ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В КРИСТАЛЛАХ $Bi_{12}GeO_{20}$, НАВЕДЕННЫЕ ИЗЛУЧЕНИЕМ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1053 И 870 нм

Д.О. Сивун, студент 3-го курса, каф. ЭП,
А.С. Акрестина, аспирантка каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, т. 413-887, dmeet@sibmail.com

Кристаллы класса силленитов, силикат висмута $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO), германат висмута $Bi_{12}GeO_{20}$ (BGO) и титанат висмута $Bi_{12}TiO_{20}$ (BTO)

обладают фоторефрактивными и фотопроводящими свойствами и находят применение в качестве функциональной среды в устройствах когерентной оптики и динамической голографии [1].

При облучении этих кристаллов светом из видимой области и ближнего инфракрасного диапазона наблюдается фотоиндуцированное изменение их оптического поглощения [2–3], что связано с перезарядкой под действием света примесных и дефектных центров с различными сечениями фотоионизации.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований и численной аппроксимации спектральных зависимостей фотоиндуцированного поглощения в кристаллах BGO, наведенных излучением с длиной волны 1053 и 870 нм.

В экспериментах исследовались кристаллы $Bi_{12}GeO_{20}$ толщиной d = 1,3 и 7 мм, вырезанные вдоль кристаллографического направления [100]. Фотоиндуцированные изменения оптического поглощения наводились лазерными импульсами с длиной волны 1053 нм, длительностью 10 нс, частотой следования 10 кГц и средней интенсивностью излучения ~2300 мВт/см^2, а также непрерывным излучением полупроводникового светодиода (λ = 870 нм) с интенсивностью ~50 мВт/см^2. Спектры пропускания кристаллов $T(\lambda)$ регистрировались на спектрофотометре СФ-56 в диапазоне 400–900 нм с шагом 1 нм. Все эксперименты проводились при комнатной температуре.

Характерные экспериментальные зависимости коэффициента поглощения $k(\lambda)$ для спектрального диапазона 400–900 нм, измеренные для исходного состояния кристалла (кривая *1*), после его облучения лазерными импульсами в течение 1 ч (кривая *2*) и после облучения непрерывным излучением светодиода в течение 1 ч (кривая *3*) представлены на рис. 1, *а*. Как видно из рис. 1, *а*, коэффициент поглощения уменьшается во всем исследованном спектральном диапазоне после облучения кристалла излучением с длиной волны 1053 нм, а свет с λ = 870 нм частично восстанавливает исходное состояние $k(\lambda)$.

Спектральные зависимости наведенных изменений в поглощении $\Delta k(\lambda)$, полученные вычитанием коэффициентов поглощения для незасвеченного и облученного кристалла BGO (d = 1,3 мм), показаны на рис. 1, *б*. Зависимости $\Delta k(\lambda)$ как для импульсного (λ = 1053 нм), так и для непрерывного излучения (λ = 870 нм) имеют резонансный характер с максимумами при λ_m = 560, 700, 755 и 830 нм. Максимальные изменения оптического поглощения Δk, зафиксированные на длинах волн 560 и 700 нм, составили ~0,15 и ~0,10 см$^{-1}$ при облучении светом с λ = 1053 нм.

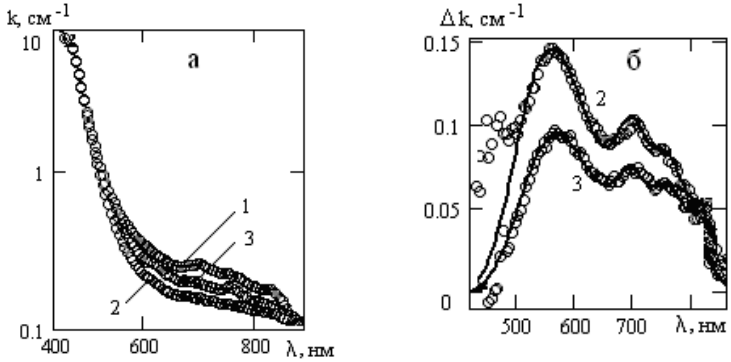


Рис. 1. Экспериментальные и расчетные спектральные зависимости коэффициента поглощения (*а*) и наведенных изменений в поглощении (*б*) в кристалле $Bi_{12}GeO_{20}$ (d = 1,3 мм): *1* – до облучения; *2* – после облучения лазерными импульсами (λ = 1053 нм); *3* – после облучения светодиодом (λ = 870 нм). Кружки – экспериментальные данные, сплошные линии – расчетные зависимости

Для аппроксимации спектральных зависимостей $\Delta k(\lambda)$ мы предположили, что их резонансный характер может быть связан с внутрицентровыми переходами для некоторого структурного дефекта [4]. С учетом этого предположения наблюдаемые в кристалле BGO изменения в поглощении, наведенные ИК излучением с длиной волны 1053 и 870 нм, удовлетворительно описываются совокупностью четырех кривых Гаусса с максимумами на длинах волн 560, 700, 755 и 830 нм (рис. 1, *б*, сплошные линии)

$$\Delta k(\lambda) = \sum_{m=1}^{4} \Delta k_m \exp\left(\frac{-(\lambda_m - \lambda)^2}{\Delta\lambda_m{}^2}\right), \qquad (1)$$

где λ_m и $\Delta\lambda_m$ соответствуют параметрам нормального распределения для центров m-типа, а Δk_m определяет изменения в поглощении при $\lambda = \lambda_m$.

Из результатов аппроксимации можно предположить, что ИК-излучение с энергией кванта ~1,17 и 1,43 эВ приводит к тому, что внутрицентровые переходы, инициируемые квантами с энергией, близкой к 1,49; 1,61; 1,75 и 2,16 эВ, становятся невозможными. В результате кристалл просветляется в спектральной области от 480 нм до ближнего ИК-диапазона (см. зависимости *2* и *3* на рис. 1, *а*).

Таким образом, облучение кристаллов BGO излучением из ближнего ИК-диапазона позволило обнаружить резонансный характер наведенных изменений в спектре примесного оптического поглощения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 08-02-99023-р_офи) и программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)».

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. Толстик А.Л., Матусевич А.Ю., Кистенева М.Г. и др.// Квантовая электроника. 2007. Т. 37, № 11. С. 1027–1032.

4. Шандаров С.М., Кистенева М.Г., Акрестина А.С., Толстик А.Л. // Материалы VII Международной научно-технической конференции «Квантовая электроника – 2008». Минск, 13–16 октября 2008 г. Минск. 2008. С. 40.

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СОЛИТОНОВ В ЛЕГИРОВАННОМ ЖЕЛЕЗОМ КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

Н.В. Слизникова, А.С. Сюваева, студентки 5-го курса,
Е.С. Шандаров, ст. преп. каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, alenas1987@mail.ru

Самовоздействие световых пучков в фоторефрактивных кристаллах наблюдается при малых интенсивностях и позволяет реализовать режим распространения пучков с сохранением огибающей в виде светлых и темных солитонов [1]. Под темным солитоном понимается бездифракционное поведение неосвещенной области в световом поле. Наиболее подходящим материалом для реализации пространственных солитонов являются легированные Fe монокристаллы ниобата лития $LiNbO_3$:Fe.

В данной работе представлены результаты анализа условий наблюдения темных солитонов и разработки соответствующей экспериментальной установки. Для проведения численного моделирования распространения светового пучка в кристалле необходимо найти реальное входное распределение амплитуды светового пучка, соответствующее темному пространственному солитону. Первая оптическая схема, изображенная на рис. 1, предназначена для улучшения качества светового распределения, достигаемого фокусировкой лазерного пучка *1* линзой $Л_1$ на точечную диафрагму $Д_1$, вырезающую его центральную часть.

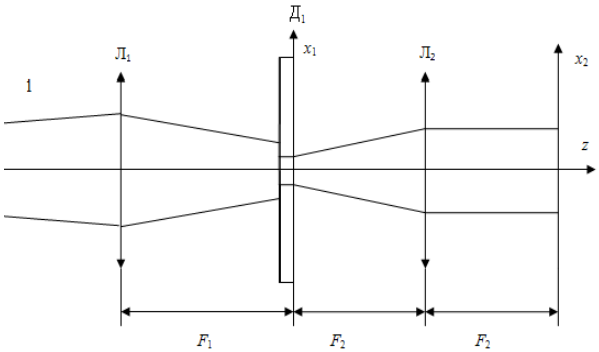


Рис. 1. Оптическая схема,
осуществляющая преобразование Фурье

В приближении постоянной амплитуды E_0 светового поля вдоль координаты x_1 распределение его амплитуды $E_2(x_2)$ в выходной плоскости данной схемы, создаваемое линзой Л$_2$ с фокусным расстоянием F_2, может быть получено в виде [2]

$$E_2(x_2) = E_0 \frac{\sin(\pi d_1 x_2 / \lambda F_2)}{(\pi d_1 x_2 / \lambda F_2)}, \qquad (1)$$

где d_1 – диаметр отверстия диафрагмы Д$_1$ и λ – длина световой волны.

В следующей части оптической схемы (рис. 2) в половину пучка вводилась подстраиваемая стеклянная пластинка *2*, создающая фазовый сдвиг на π в этом распределении $E_2(x_2)$ для положительных пространственных частот ($x_2 > 0$), а диафрагма Д$_2$ обеспечивала пропускание только его центрального максимума.

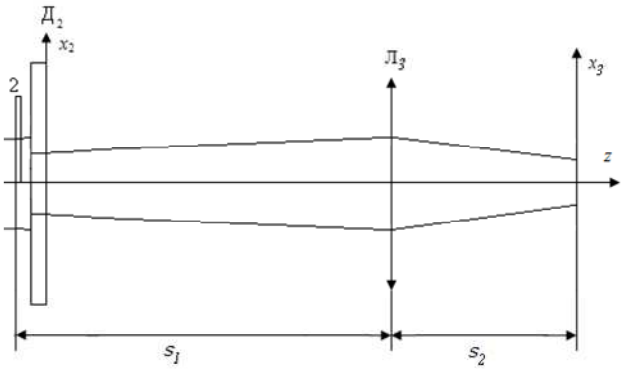


Рис. 2. Оптическая схема получения изображения

Изображенная далее на рис. 2 следующая часть разработанной оптической системы переносила изображение с инвертированным для $x_2>0$ знаком светового поля на входную грань фоторефрактивного кристалла. Результирующее распределение, моделирующее темный солитон, с использованием соотношений из [2] можно получить как

$$E_3(x_3)=\int_{-d_2/2}^{0} E_0\frac{\sin(\pi d_1 x_2/\lambda F_2)}{(\pi d_1 x_2/\lambda F_2)}\int_{-D/2}^{D/2}\exp\left(i\frac{\pi}{\lambda}\left(\frac{1}{s_1}+\frac{1}{s_2}-\frac{1}{F_3}\right)x^2\right)\times$$

$$\times\exp\left(-i\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{x_2}{s_1}-\frac{x_3}{s_2}\right)x\right)dx\ dx_2-\int_{0}^{d_2/2} E_0\frac{\sin(\pi d_1 x_2/\lambda F_2)}{(\pi d_1 x_2/\lambda F_2)}\times$$

$$\times\int_{-D/2}^{D/2}\exp\left(i\frac{\pi}{\lambda}\left(\frac{1}{s_1}+\frac{1}{s_2}-\frac{1}{F_3}\right)x^2\right)\exp\left(-i\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{x_2}{s_1}-\frac{x_3}{s_2}\right)x\right)dx\ dx_2, \qquad (2)$$

где d_2 – диаметр отверстия диафрагмы Д$_2$; D – апертура и F_3 – фокусное расстояние изображающей линзы Л$_3$; s_1 – расстояние между стеклянной пластинкой и линзой Л$_3$; s_2 – расстояние от линзы Л$_3$ до входной грани кристалла.

В результате была спроектирована экспериментальная установка, схематично изображенная на рис. 3.

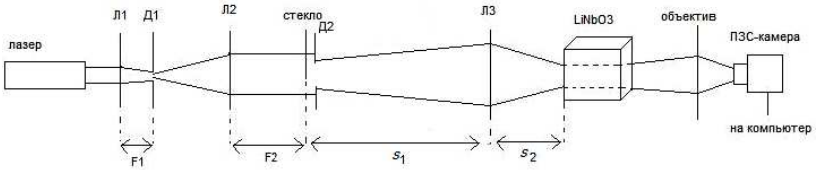


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Для наблюдения формирования темных пространственных солитонов предполагается использование кристалла $LiNbO_3$:Fe и твердотельного лазера с длиной волны излучения 532 нм. В установке использованы сферические линзы Л$_1$ и Л$_2$ с фокусными расстояниями 40 и 170 мм соответственно и цилиндрическая линза Л$_3$ (F_3 = 140 мм). Расстояние s_1 составляло 530 мм, а значение s_2 = 190 мм находилось из условия $s_2 = 1/(1/F_3 - 1/s_1)$. Изображение выходной грани кристалла с помощью объектива проецировалось на ПЗС-камеру и фиксировалось с помощью компьютера.

Для определения распределения светового поля на входной грани кристалла проведены численные расчеты по формуле (2) для приведенных выше параметров схемы, изображенной на рис. 3. Моделиро-

вание распространения темного пространственного солитона проводилось на основе численного решения известного волнового уравнения [1] для такого найденного входного распределения с использованием схемы Дугласа [3, 4]. Результаты численного моделирования в отсутствие самовоздействия, развивающегося в течение десятков и сотен секунд, приведены для кристалла толщиной 12 мм на рис. 4. Из него следует, что дифракционные эффекты увеличивают ширину темного провала в распределении интенсивности на выходной грани в 1,2 раза, по сравнению с входным распределением. После «включения» самовоздействия фоторефрактивный эффект приводит к изменению оптических свойств кристалла $LiNbO_3$:Fe, локально зависящих от интенсивности света. Используя приведенные в работе [5] параметры кристалла и значение его темновой проводимости $\sigma_d = 8 \cdot 10^{-11}$ Ом$^{-1}$ м$^{-1}$, мы рассчитали для максимальной входной интенсивности I_0 = 4,2 кВт/м^2 выходное распределение интенсивности светового поля для достигаемого в этом случае стационарного состояния, представленное на рис. 5.

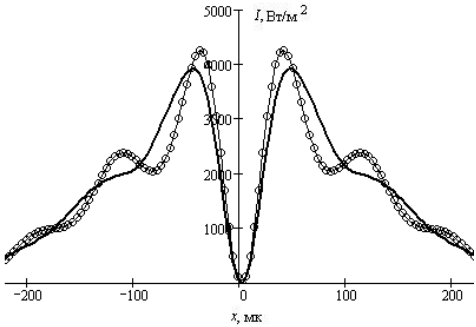


Рис. 4. Распределение интенсивности светового поля на входной (кружками) и выходной (сплошная кривая) гранях кристалла

Как видно из рис. 5, для солитонного режима ширина темного провала в распределении интенсивности светового поля на выходной грани совпадает с входным распределением.

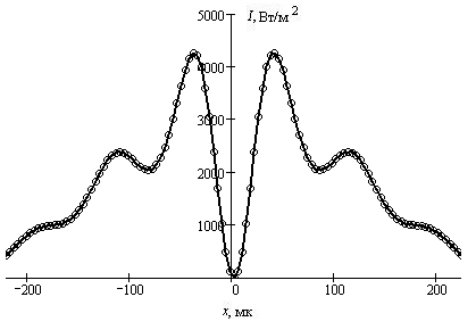


Рис. 5. Распределение интенсивности светового поля на входной (кружками) и выходной (сплошная кривая) гранях кристалла

Таким образом, в данной работе разработана установка для наблюдения формирования темных пространственных солитонов и проведено численное моделирование их распространения в кристалле $LiNbO_3$:Fe.

ЛИТЕРАТУРА

1. Valley G.C., Segev M., Crosignani B. et al. // Phys. Rev. A. 1994. Vol. 50. P. R4457.

2. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику. М.: Мир, 1970.

3. Douglas J. Jr. On the numerical integration of $\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}=\frac{\partial U}{\partial t}$ by implicit methods // J. Soc. Indust. Appl. Math. 1955. Vol. 3. P. 42–65.

4. Peaceman D., Rachford H. The numerical solution of parabolic and elliptic equations // J. Soc. Indust. Appl. Math. 1955. Vol. 3. P. 28–41.

5. Sturman B.I., Shamonina E., Mann M., Ringhofer K.H. Space-charge waves in photorefractive ferroelectrics // J. Opt. Soc. Am. B. 1995. Vol. 12. № 9. September. P. 1642–1650.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

К.В. Тепляков, студент 6-го курса

г. Томск, ТУСУР, т. +7-923-403-36-21, Rjcnz-nuts@sibmail.com

Современный уровень развития осветительной техники позволяет создавать высокоэффективные полупроводниковые осветительные устройства на основе мощных светодиодов. При работе таких светодиодов в них выделяется большое количество тепла вследствие джоулева разогрева. Повышение температуры негативно сказывается на надежности, стабильности и эффективности работы светодиодов. В связи с этим особую важность приобретает процесс рассеивания выделяемой тепловой мощности (теплоотвода). Эффективность теплоотвода характеризуется величиной теплового сопротивления (ТС), которая показывает ограничение в скорости распространения тепла от активной области. Это означает важность определения ТС для каждого типа светодиодов. В связи с этим целью данной работы была разработка методики определения величины теплового сопротивления.

Известны методы определения ТС, основанные на температурной зависимости параметров светодиода [1]. В одном из них при токовом разогреве измеряют длину волны в максимуме спектра излучения, в другом – прямое падение напряжения. То есть током разогревается светодиод, измеряется некий параметр и по его величине определяется

калибровочная зависимость температуры активной области. Затем определяется величина ТС по формуле (1):

$$Rt = \frac{T - T_{\text{комн}}}{I \times U}, \qquad (1)$$

где T – температура активной области; $T_{\text{комн}}$ – комнатная температура; I, U – соответственно прямой ток и прямое падение напряжения на светодиоде, находящемся при комнатной температуре.

В основу разработанной методики положено явление уменьшения мощности излучения светодиодов при повышении температуры активной области. Это так называемое явление температурного гашения электролюминесценции, связанное со многими причинами и приводящее к снижению эффективности светодиода [1]. Для определения величины ТС также необходимо предварительное снятие калибровочной кривой зависимости мощности излучения от температуры. В процессе измерений на светодиод, находящийся при комнатной температуре, подается греющий ток и во время нахождения светодиода в термодинамически равновесном состоянии определяют мощность его излучения. На рис. 1 приведена зависимость мощности излучения светодиода при комнатной температуре от пропускаемого прямого тока.

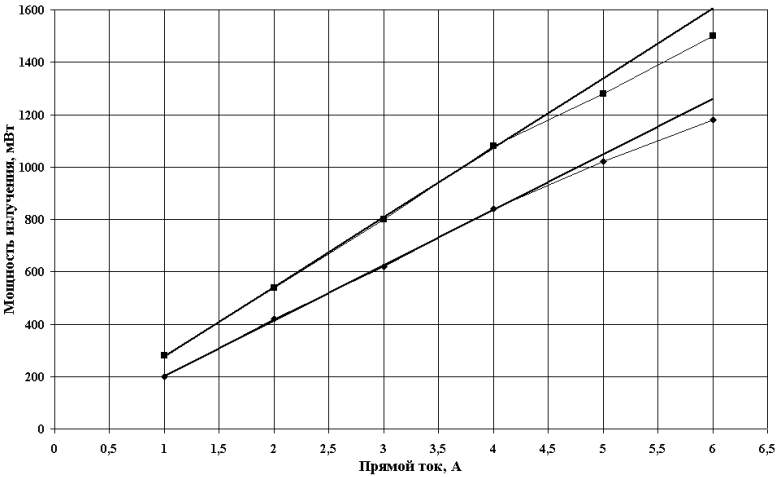


Рис. 1. Зависимость мощности излучения экспериментальных светодиодов от тока

На рис. 2 приведена калибровочная кривая зависимости мощности излучения от температуры. По зависимости, приведенной на рис. 1,

определяют величины отклонения мощности излучения от линейной аппроксимации участка кривой, соответствующего малым токам. По величине относительного отклонения мощности с помощью калибровочной кривой определяют температуру активной области *p–n*-перехода. Затем, используя формулу (1), определяют величины ТС.

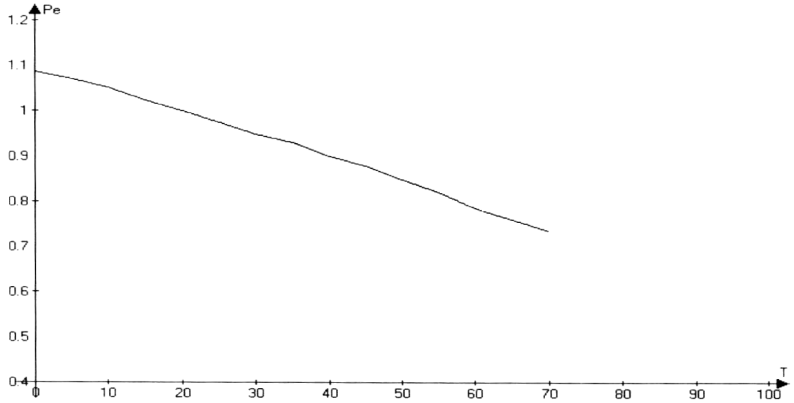


Рис. 2. Зависимость мощности излучения от температуры (калибровочная кривая)

Данная методика позволяет достаточно просто определить величину ТС при известной калибровочной зависимости для данного типа светодиодов.

Величины тепловых сопротивлений нескольких светодиодов, определенных по предложенной и по второй описанной методике, приведены в таблице.

Результаты измерений тепловых сопротивлений предложенным и вторым описанным методом

Номер диода	*Rt*, К/Вт	
	Предложенный метод	Метод с падением прямого напряжения
1	0,86	3,62
2	0,84	3,75
3	1,5	4,38

Предложенная методика позволяет достаточно быстро определить величины тепловых сопротивлений по известной нормированной зависимости мощности излучения определенного типа светодиодов от температуры. Разработку следует продолжить в плане оценки извест-

ных методов определения ТС и учета неоднородности распределения температуры по площади активной области (эффект «current crowding») [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды / Пер. с англ.; под. ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛЬНОГО ПУЧКА ПРИ ВСТРЕЧНОМ ДВУХВОЛНОВОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НЕМОДУЛИРОВАННЫМ ПУЧКОМ НАКАЧКИ

В.Н. Терещенко, С.С. Шмаков, студенты 5-го курса, каф. ЭП,
А.А. Колегов, аспирант каф. ЭП,
С.М. Шандаров, проф., д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, necehzyby@mail.ru

В работе [1] для демодуляции фазы сигнального пучка использовалась встречная схема взаимодействия пучков с разным типом поляризации (круговая и линейная) в фоторефрактивном кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$: Fe, Cu среза (100). На длине волны 532 нм от твердотельного лазера авторы [1] получили высокую эффективность взаимодействия и значительную амплитуду демодулированного сигнала на частоте первой гармоники. Известно, что в таком кристалле для длины волны 532 нм наблюдается большое поглощение света. Поэтому для возможной замены твердотельного лазера на альтернативный источник излучения было принято исследовать двухволновое взаимодействие в условиях фазовой модуляции сигнального пучка на длине волны 633 нм от He–Ne-лазера.

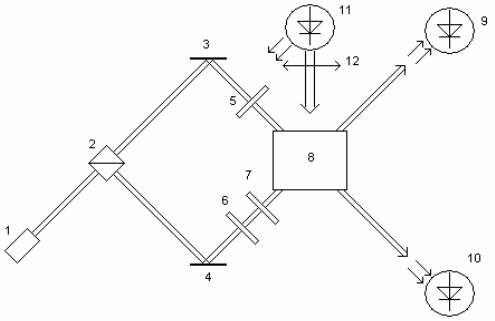


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: *1* – гелий-неоновый лазер; *2* – делительный кубик; *3* – зеркало; *4* – зеркало, прикрепленное к мембране динамика; *5*, *6* – четвертьволновая пластина; *8* – кристалл; *9*, *10* – фотодиод; *11* – светодиод; *12* – собирающая линза

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований двухволнового взаимодействия в условиях фазовой модуляции сигнального пучка в кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$ с использованием внешней некогерентной подсветки и без нее.

Результаты наблюдения изменения амплитуды постоянной составляющей и первой гармоники от амплитуды фазовой модуляции без внешней подсветки представлены на рис. 2 и 3, и с внешней некогерентной подсветкой – на рис. 4 и 5.

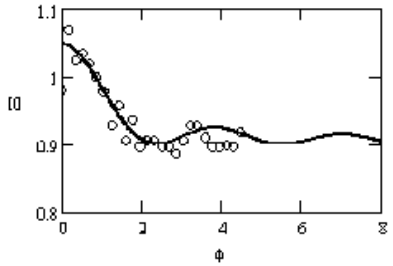


Рис. 2. Зависимость амплитуды постоянной составляющей от амплитуды фазовой модуляции

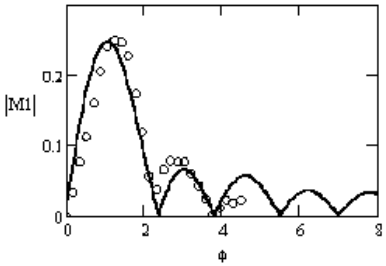


Рис. 3. Зависимость первой гармоники от амплитуды фазовой модуляции

Подсветка отсутствует, коэффициент двухпучкового взаимодействия [1] составил $\Gamma_i = 6{,}6$ см$^{-1}$, поляризация сигнального пучка составляет 0° с осью [010].

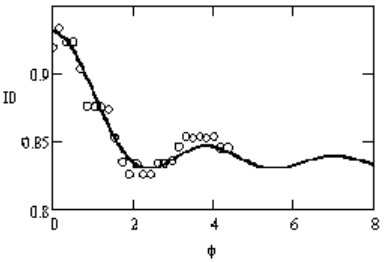


Рис. 4. Зависимость амплитуды постоянной составляющей от амплитуды фазовой модуляции

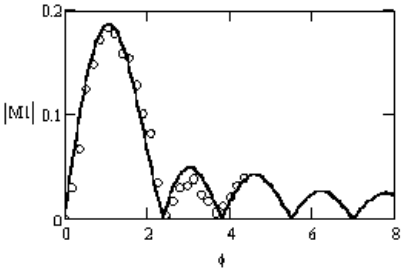


Рис. 5. Зависимость первой гармоники от амплитуды фазовой модуляции

Подсветка присутствует, коэффициент двухпучкового взаимодействия составил $\Gamma_i = 4{,}8$ см$^{-1}$, поляризация сигнального пучка составляет 0° с осью [010].

Как видно из экспериментальных результатов, наличие внешней некогерентной подсветки уменьшает эффективность двухволнового

взаимодействия, что влечет снижение амплитуды выходного сигнала, однако подсветка будет приводить к уменьшению времени фоторефрактивного отклика, т.е. к увеличению диапазона частот медленных колебаний, для которых проявляется свойство адаптивности устройств динамической голографии. Таким образом, некогерентную подсветку целесообразно использовать для увеличения быстродействия адаптивных интерферометров, построенных на основе рассмотренной в настоящей работе схеме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shandarov S.M., Kolegov A.A., Burimov N.I. et al. Two-wave mixing on reflection dynamic gratings in sillenite crystals under phase modulation of signal beam // Physics of Wave Phenomena. 2009. Vol. 17, № 1. P. 39–44.

2. Буримов Н.И., Шандаров С.М., Быков В.И. и др. Двухволновое взаимодействие на динамических отражательных голограммах в кубических фоторефрактивных кристаллах при фазовой модуляции сигнального пучка // Химия высоких энергий. 2008. Т. 42, № 4 (приложение). С. 38–40.

ДИФРАКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕОДНОРОДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ ОДНОМЕРНЫХ ФОТОННЫХ ФПМ-ЖК СТРУКТУР

С.В. Устюжанин, аспирант,
С.Н. Шарангович, к.ф.-м.н., зав. каф. СВЧ и КР
г. Томск, ТУСУР, т. 413-643, shr@svch.rk.tusur.ru

В последнее время значительное внимание уделяется исследованию нелинейно-оптических эффектов голографического формирования дифракционных структур (ДС) в фотополимерных материалах с жидкокристаллической компонентой (ФПМ-ЖК), изучению их дифракционных характеристик и созданию на их основе динамически управляемых элементов для устройств оптической связи (оптических переключателей, мультиплексоров, фильтров и т.п.) и отображения информации.

При голографическом формировании дифракционных решеток (ДР) в ФПМ-ЖК, за счет фотополимеризационно-диффузионного и инкапсуляционного процессов, молекулы жидкого кристалла (ЖК) группируются в капсулы (рис. 1), в которых ориентация молекул ЖК определяется статистикой Гаусса [1]. В работе [2] представлена математическая модель дифракции световых пучков на неоднородной голографической решетке, образованной на фотополимерном материале

с жидкокристаллической компонентой (ФПМ-ЖК), с учетом статистикого распределения молекул жидкого кристалла в капсулах и ориентационного влияния электрического поля.

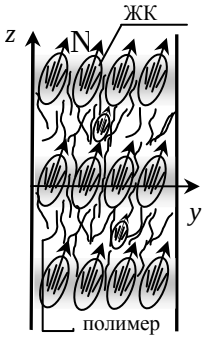


Рис. 1. Ориентация ЖК капсул в ДР

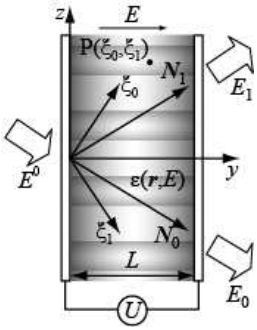


Рис. 2. Схема дифракции на ДР в ФПМ-ЖК

Целью данной работы является развитие математической модели дифракции световых пучков на неоднородной электрически управляемой одномерной фотонной ФПМ-ЖК структуре, представленной в [2], и изучение на основе численного моделирования дифракционных характеристик такой структуры при различных параметрах записи.

Аналитическая модель

При голографической записи ДС в поглощающих ФПМ-ЖК, как показано в [3], профиль первой гармоники показателя преломления $n_1(\tau,y)$ является существенно неоднородным и трансформирующимся со временем записи (рис. 3). Для произвольного времени записи результирующий профиль может быть аппроксимирован выражением

$$n_1(y,c,s,t) = ch^{-1}\left[c(sy-t)\right] \qquad (1)$$

где c, s, t – параметры, определяемые путем минимизации функционала среднеквадратического отклонения аппроксимирующей функции (1) от представленной на рис. 3. Ошибка аппроксимации составляет < 3%.

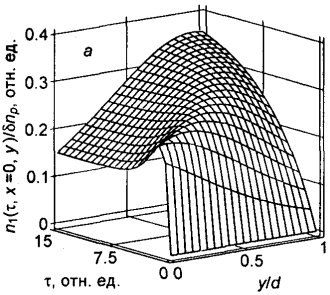


Рис. 3. Кинетика изменения профиля $n_1(\tau,y)$ ДС [3]

Ввиду анизотропных свойств ФПМ-ЖК взаимодействие световых пучков в области дифракции определяется двумя независимыми систе-

мами уравнений связанных волн (УСВ) в частных производных [2]. Для распределения (1) их решения находятся методом Римана аналогично [4]. В апертурных координатах $\xi_0 = -\eta_0 y + \nu_0 z$, $\xi_1 = \eta_1 y - \nu_1 z$ (см. рис. 2) результирующее выражение для амплитудного профиля дифракционного поля в первом порядке $E_1^m(\eta)$ на выходе ДС имеет вид

$$E_1^m(\xi_1, E) = -i\frac{b_1^m(E)}{2}\int_{-1}^{+1}\exp\left[-i\frac{\Delta K^m(E)L}{2}(1-q)\right]\times$$
$$\times \mathrm{ch}^{-1}\left[c(s(1-q)/2+t)\right]\cdot\Phi(-\alpha,\alpha,1;w)E^m\left(g(1-q)-\frac{\xi_1}{\nu_1}\right)dq, \qquad (2)$$

где $\Phi(-\alpha,\alpha,1;w)$ – гипергеометрическая функция Гаусса, $\alpha = b_j^{\mathrm{m}}(E)$; $b_j^{\mathrm{m}}(E) = L\cdot C_j^m(E)/\sqrt{\nu_1\nu_0}$; $C_j^m(E)$, $\Delta K^m(E)$ – коэффициенты связи и фазовая расстройка, зависящие от внешнего управляющего электрического поля E [2]; $\nu_1 = \cos\varphi_1$, φ_1 – угол между нормалями $\boldsymbol{N}_1$ и осью y (см. рис. 2), j = 0,1, L – толщина образца; $g = L\sin(\varphi_0+\varphi_1)/2W\cos(\varphi_1)$; $w_1 = \sinh\left[cs(1-q)/2\right]\sinh\left[cs(1+q)/2\right]/\cosh[ct]\cosh[c(s-t)]$; W – ширина светового пучка; $E^m(\xi)$ – амплитудный профиль падающего пучка на входе ДР (при $y = 0$), $m = 0$; e – обыкновенная и необыкновенная волны.

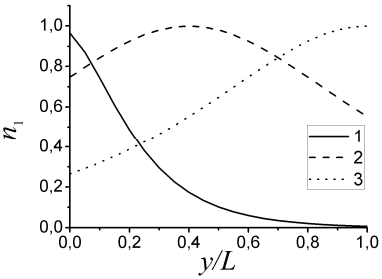


Рис. 4. Зависимость $n_1(y)$

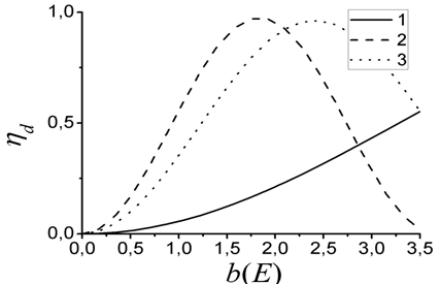


Рис. 5. Зависимость $\eta_d(b)$

Численное моделирование. На основе решения (2) были исследованы зависимости интегральной дифракционной эффективности

$$\eta_d(b) = \int_{-\infty}^{\infty}\left|E_1^m(\eta,b)\right|^2 d\eta \Big/ \int_{-\infty}^{\infty}\left|E^m(\zeta)\right|^2 d\zeta \qquad (3)$$

от степени неоднородности ДС, коэффициента связи и фазовой расстройки, зависящих от приложенного электрического поля.

На рис. 4 представлен нормированный профиль показателя преломления ДС для различных параметров *c*, *s*, *t*, равных 2,7; –2; 0,1 (кривая *1*), 4; –0,5; –2 (кривая *2*), 4; –0,5; –0,5 (кривая *3*) соответственно. При этих параметрах произведено численное моделирование нормированной зависимости эффективности дифракции от параметра $b(E)$ при различных профилях показателя преломления ДС (рис. 5).

Таким образом, в работе представлены математическая модель и исследованы дифракционные характеристики неоднородных ФПМ-ЖК ДС.

Работа выполнена по проекту № РНП.2.1.1.429 программы «Развитие научного потенциала высшей школы на 2009–2010 годы».

ЛИТЕРАТУРА

1. Sutherland R.L. // JOSA. B. 2002. Vol. 19, № 12. P. 2995–3003.

2. Устюжанин С.В., Шарангович С.Н. // Известия вузов. Физика. 2008. Т. 51, № 9/3. С. 171–172.

3. Довольнов Е.А., Устюжанин С.В., Шарангович С.Н. // Известия вузов. Физика. 2006. Т. 49, № 10. С. 81–89.

4. Шарангович С.Н. // Радиотехника и электроника. 1995. Т. 40, № 8. С. 1211–1222.

НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ $GaSe_{1-X}S_X$ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Е.М. Винник

г. Томск, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, т. 8-913-847-10-05, evgenyvinnik@ya.ru

Впервые фазосогласованная генерация терагерцового (ТГц) излучения ($\Delta\lambda$ = 70–110 мкм, $\Delta\nu = 10^{-3}$ см$^{-1}$) при комнатной температуре реализована даун-конверсией излучения двухчастотного CO_2-лазера низкого давления в нелинейном кристалле (НК) $ZnGeP_2$ [1]. Позднее пиковая мощность 1,7 мкВт, полученная в [1], была увеличена до 2 Вт [2]. Терагерцовые спектрофотометры на основе таких источников должны быть простыми в обращении и дешевыми, обладать высокими эксплуатационными характеристиками. Спектральное положение линий излучения CO_2-лазера, одного из самых эффективных и хорошо отлаженных в техническом плане, известно с высокой точностью. Это позволяет определить положение линий излучения ТГц излучения с той же точностью путем алиментарного перерасчета и позволяет обойтись без сложного и дорогостоящего спектроскопического оборудования. Ширина линий излучения лазеров уменьшается до значения 10^{-6} см$^{-1}$ простыми техническими средствами: путем пассивной и тем-

ературной стабилизации длины резонатора, селекции мод, стабилизации частоты и мощности излучения лазера путем магнитострикционной и пьезоэлектрической подстройки длины резонатора, а перестройка частоты осуществляется с помощью ординарных шаговых двигателей. Отметим, ТГц-спектрофотометры пригодны для анализа состава не только газовых смесей, но и жидкостей, а также твердых тел органического состава.

Однако наличие в $ZnGeP_2$ коротковолнового «плеча» поглощения 0,67–2,5 мкм не позволяет создать эффективный источник ТГц-излучения с накачкой твердотельными лазерами на органических соединениях, фс Ti:Sapphire, Cr:Forsterite и доступными Nd:YAG лазерами. Кроме того, НК $ZnGeP_2$ имеют большие, до 1 см$^{-1}$, оптические потери на длинах волн CO_2-лазеров. Этих недостатков лишены НК GaSe, но они имеют чрезвычайно низкие механические свойства и не пригодны для прикладных применений.

В данной работе исследованы возможности применения для генерации терагерцового излучения нелинейных кристаллов GaSe с модифицированными путем легирования серой свойствами.

Коротковолновая граница спектра прозрачности GaSe находится на длине волны 0,62 мкм (рис. 1, *а*) против 0,67 мкм у $ZnGeP_2$, «плечо» поглощения отсутствует. Длинноволновая граница находится в районе 18 мкм (см. рис. 1, *б*) против 10,7 мкм у $ZnGeP_2$. Двулучепреломление, ответственное за выполнение условий фазового синхронизма, как основного фактора, определяющего эффективность процессов преобразования частоты, B = 0,35 против 0,04.

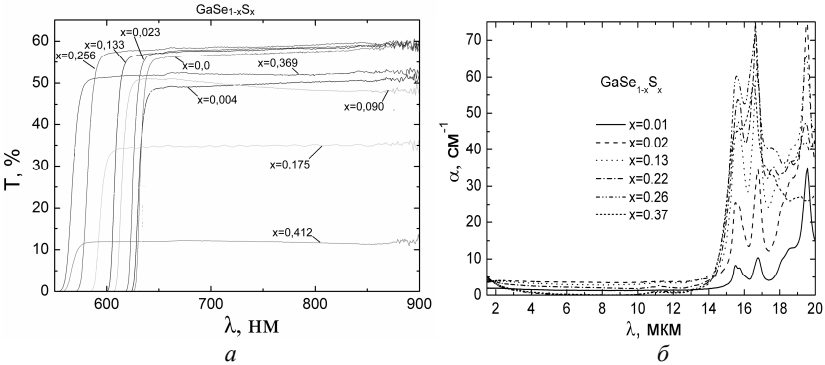
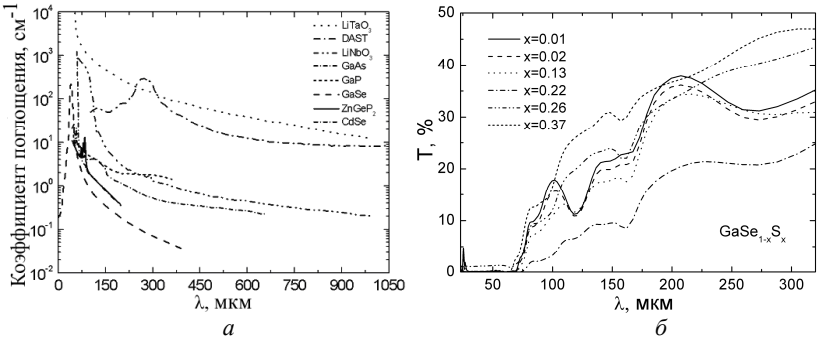


Рис. 1. Коротковолновая (*а*) и длинноволновая (*б*) границы спектров прозрачности НК $GaSe_{1-x}S_x$, отношение смешения x = 0 – чистый GaSe

Установлено, что легирование НК GaSe до получения кристаллов твердых растворов, соответствующих химической формуле

GaSe:GaS → $GaSe_{1-x}S_x$ радикально изменяет их физические свойства. Твердость возрастает на порядок при 4-кратном увеличении теплопроводности. Они становятся пригодными для механической обработки и эксплуатации в составе прикладных устройств. При этом спектр прозрачности линейно сдвигается в коротковолновую сторону с ростом *x* (рис. 2, *а*), как и длинноволновая граница (рис. 2, *б*).



а *б*

Рис. 2. Спектр прозрачности НК GaSe (*а*) и $GaSe_{1-x}S_x$ (*б*) в ТГц области

Новых пиков поглощения не появляется. Двулучепреломление остается прежним из-за близости двулучепреломления GaSe и GaS.

Эксперимент по генерации ТГц-излучения проведен с использованием двухчастотного (10,3 и 10,6 мкм) TEA CO_2-лазера в качестве источника накачки. Лидирующий 150 нс пик излучения сопровождался 2 мкс «хвостом» излучения содержащим 40% энергии импульса 0,6–0,8 Дж. Тип II (oe → e) даун-конверсии реализован в 14 мм чистом НК GaSe и 16 мм НК $GaSe_{0,8}S_{0,2}$. Для выбора корректной ориентации по углу φ проводился предварительный эксперимент по генерации второй гармоники CO_2-лазера. ТГц-излучение зафиксировано на длине волны 340 мкм с энергией 3 мкДж с помощью пироэлектрического приемника ELTEC 420M3, Франция, при угле синхронизма θ = 11,2°. Для подавления остаточного излучения лазера использован подобранный фильтр из органических материалов. Угол синхронизма отличался на 0,6° от результатов оценок по полученным дисперсионным данным. Эффективность даун-конверсии в твердом растворе в 2,4 раза превысила эффективность чистого кристалла GaSe.

Установлено, что наряду с радикальным улучшением механических и тепловых свойств НК GaSe при легировании серой, дающим возможность использования НК $GaSe_{1-x}S_x$ в прикладных оптических устройствах, у них появляется ряд дополнительных, привлекательных

для генерации ТГц-излучения свойств. Смещение спектра прозрачности в коротковолновую сторону позволяет использовать в качестве источников накачки твердотельные лазеры на органических соединениях, фемтосекундные Ti:Sapphire, Cr:Forsterite и широко доступные Nd:YAG-лазеры. Сдвиг спектров прозрачности в ту же сторону приводит к уменьшению оптических потерь и сглаживанию спектров поглощения ТГц-диапазона, что способствует увеличению эффективности его генерации до 2,4-кратной. Отметим, что легированные кристаллы пригодны для генерации перестраиваемого излучения в чрезвычайно широком диапазоне от 1 до 5600 мкм за исключением узкого промежутка 38,4–58,2 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boyd G.D., Bridges T.J., Patel C.K.N. Phase matched submillimeter generation by difference-frequency mixing (DFG) in $ZnGeP_2$ // Appl. Phys. 1972. Vol. 21, № 11. P. 553–555.

2. Andreev Yu.M., Apollonov V.V., Shakir Yu.A. et al. Submillimeter-wave generation with $ZnGeP_2$ // J. Korean Physical Society. 1998. Vol. 33, № 3. P. 320–325.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИ-УПРАВЛЯЕМОЙ НЕОДНОРОДНОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ФПМ-ЖК ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ РЕШЁТКОЙ

Б.Ф. Ноздреватых, аспирант;
С.Н. Шарангович, к.ф.-м.н., зав. каф. СВЧиКР
г. Томск, ТУСУР, т. 413-643, shr@svch.rk.tusur.ru

В настоящее время исследованию голографических дифракционных структур (ДС) в фотополимерных композитных материалов с жидкокристаллической компонентой (ФПМ-ЖК) уделяется значительное внимание, так как на их основе можно создавать электрически управляемые дифракционные элементы для устройств оптической связи (оптические переключатели, мультиплексоры, фильтры и т.п.).

В работе [1] представлена модель, описывающая дифракционные свойства однородных ДР (пропускающих и отражающих) с учетом статистики распределения ориентации молекул ЖК в капсуле. В [2] рассматривается взаимодействие световых пучков с неоднородной ДР пропускающего типа.

Целью данной работы является создание математической модели взаимодействия световых пучков с электрически-управляемой неоднородной голографической ФПМ-ЖК *отражательной* ДР с учетом статистики распределения ориентации молекул ЖК.

Аналитическая модель. Для описания взаимодействия световых пучков с ФПМ-ЖК ДР в отражательной геометрии, показанной на рис. 1, воспользуемся представлением дифрагированного $\mathbf{E}_1(\boldsymbol{r},t)$ и проходящего $\mathbf{E}_0(\boldsymbol{r},t)$ пучков в виде разложения по частотно-угловым спектрам (ЧУС):

$$\mathbf{E}(\mathbf{r},t)=0{,}5\left\{\sum_{m}^{o,e}\sum_{n}^{0,1}\int_{-\infty}^{+\infty}\int \mathbf{e}_n^m E_n^m\left(\omega,\mathbf{k}_n^m,\mathbf{r}\right)\exp\left[i\left(\omega t-\mathbf{k}_n^m\cdot\mathbf{r}\right)\right]dk_{n\tau}d\omega\ +\kappa.c.\right\} \quad (1)$$

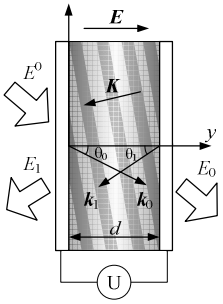


Рис. 1. Схема дифракции

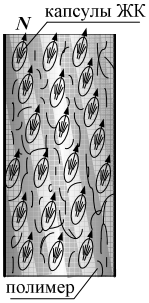


Рис. 2. Ориентация ЖК капсул в ДР

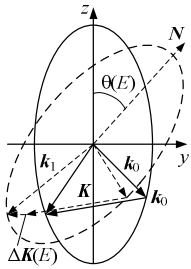


Рис. 3. Геометрия дифракции (е-е)

с медленно меняющимися комплексными амплитудами $E_n^m\left(\omega,\mathbf{k}_n^m,\mathbf{r}\right)$ спектральных составляющих, удовлетворяющих в первом приближении ММА уравнениям связанных волн (УСВ)

$$\begin{aligned}\mathbf{N}_{r0}^m\cdot\nabla E_0^m(\mathbf{r})&=iC_1^m(E)n_1^*(y)E_1^m(\mathbf{r})\exp\left[+i\Delta\mathbf{K}^m(E)\cdot\mathbf{r}\right]\\ \mathbf{N}_{r1}^m\cdot\nabla E_1^m(\mathbf{r})&=iC_0^m(E)n_1(y)E_0^m(\mathbf{r})\exp\left[-i\Delta\mathbf{K}^m(E)\cdot\mathbf{r}\right]\end{aligned}. \quad (2)$$

Здесь $C_{0,1}^m(E)=0{,}25\omega\left(\boldsymbol{e}_1^m\langle\Delta\boldsymbol{\varepsilon}(E)\rangle\boldsymbol{e}_0^m\right)(c_c\, n_{1,0}\cos\beta_{1,0}^m)^{-1}$, $\Delta\mathbf{K}^m(E)$ – коэффициенты связи и фазовые расстройки, зависимость которых от E обусловлена переориентацией директоров **N** ЖК капсул (рис. 2) и изменением геометрии дифракции (рис. 3), $\langle\Delta\boldsymbol{\varepsilon}(E)\rangle$ – усредненный тензор возмущения диэлектрической проницаемости ФПМ-ЖК, определяемый при помощи статического распределения молекул ЖК в капсуле [2], $\mathbf{e}_{0,1}^m(y)$, $\mathbf{N}_{r0,1}^m$ поляризации и групповые нормали, $m = o, e$.

Для решения (2) профиль первой гармоники показателя преломления $n_1(y)$, который при голографической записи ДС в поглощающих ФПМ-ЖК является неоднородным (рис. 4 [2]), аппроксимируем

функцией $n_1(y) = \cosh^{-1}[c(sy/d - t)]$, показанной на рис. 5 при различных значениях параметров *c*, *s*, *t*. Ошибка аппроксимации при этом <1%.

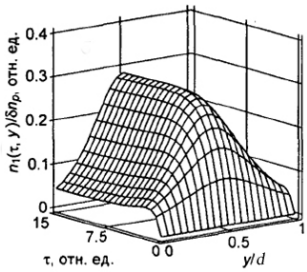


Рис. 4. Кинетика формирования $n_1(y)$

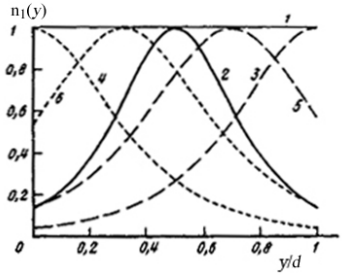


Рис. 5. Аппроксимация $n_1(y)$

Используя граничные условия $E_1^m(y=d)=0$, $E_0^m(y=0)=E^{om}$ и методику [4] , получим решения УСВ (2) в виде

$$E_1^m\left(\omega,\mathbf{k}_1^m,\mathrm{y}\right)=H_1^m\left(\omega,\mathbf{k}_1^m\right)E^{om}\left(\omega,\mathbf{k}_0^m\right),$$

$$E_0^m\left(\omega,\mathbf{k}_0^m,y\right)=H_0^m\left(\omega,\mathbf{k}_0^m\right)E^{om}\left(\omega,\mathbf{k}_0^m\right), \quad (3)$$

где $H_i^m\left(\omega,\mathbf{k}_i^m,y\right)$ – комплексные передаточные функции ФПМ-ЖК отражательной ДС, характеризующие преобразование ЧУС взаимодействующих световых пучков в нулевом дифракционном порядке

$$H_1^m\left(\omega,\mathbf{k}_1^m,y\right)=A\Big[\xi^{(1-\tau)}F\left(\alpha,\beta,\tau,\overline{\xi}\right)F\left(\alpha-\tau+1,\beta-\tau+1;2-\tau;\xi\right)-$$
$$-\overline{\xi}^{(1-\tau)}F\left(\alpha,\beta,\tau,\xi\right)F\left(2-\tau+1,\beta-\tau+1;2-\tau;\overline{\xi}\right)\Big] \quad (4)$$

и первом дифракционном порядке

$$H_0^m\left(\omega,\mathbf{k}_1^m,y\right)=B\Big[\Big[(1-\tau)F\left(\alpha-\tau+1,\beta-\tau+1;2-\tau;\xi\right)+$$
$$+\frac{\alpha-\tau+1}{2-\tau}(\beta-\tau+1)\xi F\left(\alpha-\tau+2,\beta-\tau+2;3-\tau;\xi\right)\ \Big]\xi^{-\tau}F\left(\alpha,\beta,\tau,\overline{\xi}\right)-$$
$$-\overline{\xi}^{(1-\tau)}\frac{\alpha\beta}{\tau}F\left(\alpha+1,\beta+1,\tau+1,\xi\right)F\left(2-\tau+1,\beta-\tau+1;2-\tau;\overline{\xi}\right)\Big], \quad (5)$$

где $F\left(\alpha,\beta,\tau,\xi\right)$ – гипергеометрическая функция Гаусса,

$$A=\frac{iC_0^m d\cosh^{-1}[ct]}{2cs\overline{\xi}^{1-\tau}\left(1-\xi\right)}\Big[\ F\left(\alpha,\beta;\tau,\overline{\xi}\right)\left(\frac{\xi}{\overline{\xi}}\right)^{1-\tau}\Big\{(1-\tau)F\left(\alpha-\tau+1,\beta-\tau+1;2-\tau;\xi\right)+$$

$$+\frac{(\alpha-\tau+1)}{(2-\tau)}(\beta-\tau+1)\tilde{\xi}F\left(\alpha-\tau+2;\beta-\tau+2;3-\tau;\tilde{\xi}\right)\Bigg\}-\frac{\alpha\beta}{\tau}\tilde{\xi}F\left(\alpha+1,\beta+1;\tau+1;\tilde{\xi}\right)\times$$

$$\times F\left(\alpha-\tau+1,\beta-\tau+1;2-\tau;\bar{\xi}\right)\Big]^{-1},\quad B=-iA\left(C_0^m d\right)^{-1}2cs\xi(1-\xi)\cosh\left[c(sy/d-t)\right]$$

и использованы обозначения $\alpha=-\sqrt{G}$, $\beta=\sqrt{G}$, $\tau=b$,

$\xi=\left[1+\exp[-2c(sy/d-t)]\right]^{-1}$, $\bar{\xi}=\left[1+\exp[-2c(s-t)]\right]^{-1}$, $\tilde{\xi}=\left[1+\exp[2ct)]\right]^{-1}$,

$b=\frac{1}{2}\left(1+i\cdot\frac{\Delta Kd}{cs}\right)$, $G=-\frac{C_0^m C_1^m}{c^2 s^2\cos\varphi_0\cos\varphi_1}d^2$.

Заключение. Развита математическая модель взаимодействия световых пучков с электрически-управляемой неоднородной голографической ФПМ-ЖК отражательной ДР. Получены аналитические выражения оптических передаточных функций ДР , описывающие преобразование ЧУС световых пучков.

Работа выполнена по проекту № РНП.2.1.1.429 программы «Развитие научного потенциала высшей школы на 2009-2010 г.»

Литература

1. Richard L. Sutherland // JOSA B. 2002. Vol. 19. № 12. P. 2995–3003.

2. Лыков А.С., Черкашин Е.С., Ноздреватых Б.Ф., Устюжанин С.В., Шарангович С.Н. // Науч. Сессия ТУСУР-2008. Томск: В-Спектр, 2008. С. 212–214.

3. Довольнов Е.А., Устюжанин С.В., Шарангович С.Н. // Известия вузов. Физика. 2006. Т. 49. № 10. С. 81–89.

4. Шарангович С.Н. // ЖТФ. 1995. Т. 65. № 1. С. 107–126.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

А.С. Аникин, В.П. Денисов
ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ АНТЕННЫ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ПЕЛЕНГОВАНИЯ АМПЛИТУДНЫМ ПЕЛЕНГАТОРОМ.... 9

В.С. Беликов, Ф.Н. Захаров, А.А. Васильев
ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ..... 12

А.А. Будаев, А.А. Мещеряков
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ..... 14

Н.В. Демаков, А.В. Кузовников, А.Е. Пашков, В.А. Кураков
ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦИЙ В СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ РАДИОВЕЩАНИЯ И СВЯЗИ..... 17

Л.Л. Егоров
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТЕЙ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ..... 19

В.П. Денисов, А.А. Гельцер
ОЦЕНКА ДВУХПОЗИЦИОННОЙ ЭПР ОТРАЖАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ НА НАЗЕМНЫХ ТРАССАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН 21

Е.П. Геннинг, В.А. Зорин, В.А. Кураков
АЛГОРИТМ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В ДВУХПОЗИЦИОННОЙ УГЛОМЕРНОЙ СИСТЕМЕ..... 24

Н.А. Колядин, В.П. Денисов
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСКЛЮЧЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХОШИБОК В ФАЗОВЫХ ПЕЛЕНГАТОРАХ, РАБОТАЮЩИХ ПО СКАНИРУЮЩЕМУ ИСТОЧНИКУ 26

С.А. Кузнецов, А.С. Чумаков
АНАЛИЗ АЛГОРИТМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕННОГО СИГНАЛА И ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПО ПРИНЯТОМУ СИГНАЛУ, ИПОЛЬЗУЮЩЕГО КЕПСТРАЛЬНЫЙ ПОДХОД 29

А.В. Кузовников, В.А. Анжина, Н.В. Демаков, В.А. Кураков
ФОРМИРОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО СИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦИЙ..... 32

Н.А. Лобанов, П.В. Уйданов
РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ В ЗАВАЛАХ..... 34

М.В. Миронов, П.А. Мартовицкий
ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТА УДАРА МОЛНИИ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ..... 36

К.Е. Мухомор, В.П. Денисов
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА УСТРАНЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ОШИБОК ПРИ ПЕЛЕНГОВАНИИ ФАЗОВЫМ ПЕЛЕНГАТОРОМ С КОММУТИРУЕМЫМ ОДНОКАНАЛЬНЫМ ПРИЕМНИКОМ 39

П.В. Полюхович, А.А. Мещеряков
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ УТОЧНЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОГО МЕТОДА.....42
А.С. Раков, Д.С. Раков
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАПРАВЛЕННЫХ МИКРОФОНОВ.....45
Ц.Д. Сандуков
ПОСТРОЕНИЕ И РАСЧЕТ ИЗЛУЧАЮЩИХ АКУСТИЧЕСКИХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК.....48
А.В. Серов, Н.В. Демаков, В.А. Кураков
ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСОВ В ПАССИВНОЙ СИСТЕМЕ РАДИОМОНИТОРИНГА.....50
В.А. Шатров
ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ НАСЕКОМЫХ.....51
П.О. Шумский, Г.С. Шарыгин
КЛАССИФИКАЦИЯ ОШИБОК ПАССИВНЫХ РАДИОЛОКАТОРОВ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ 54
П.И. Танцай, В.Г. Корниенко
ОЦЕНКИ ФЛУКТУАЦИИ ЗАДЕРЖЕК ШУМОПОДОБНОГО СИГНАЛА В ДВУХЛУЧЕВОМ КАНАЛЕ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ 57
М.А. Васильев, В.А. Зорин, В.А. Кураков
УСТРОЙСТВО СЕЛЕКЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В ПАССИВНОЙ СИСТЕМЕ РАДИОМОНИТОРИНГА 59
А.С. Вершинин, А.А. Мещеряков
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СОЗДАНИЯ ШКАЛЫ ЕДИНОГО ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ СТАНДАРТОВ ЧАСТОТЫ, ПОДСТРАИВАЕМЫХ СИГНАЛАМИ СРНС.....61
Е.Ю. Дикий, Р.Р. Юлдашев
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ.....63
В.А. Зорин, Н.В. Демаков, В.А. Кураков
МОДЕЛИ СИГНАЛОВ В ПАССИВНОЙ СИСТЕМЕ РАДИОМОНИТОРИНГА.....67

СЕКЦИЯ 2

ЗАЩИЩЕННЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Д.В. Беклемышев, Е.Н. Мизев, В.Ю. Саяпин
СИСТЕМА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОЧАСТОТНЫХ МОДУЛЕЙ НА БАЗЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.....69
Е.А. Большанина
УЧЕБНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ AES И LEX.....76

П.А. Горшунов, А.В. Нема, А.А. Слабух, А.Р. Якупов, В.А. Кураков
ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ И ИНФОРМИРОВАНИЯ О ПРИБЛИЖЕНИИ ГРОЗОВОГО ФРОНТА 80
Д.С. Хохол
ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ ГОСТ 28147–89 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА 81
М.В. Иванченко
ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ AES НА DSP 84
В.М. Винокуров, В.В. Кузнецов
КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЕР ПО ТЕМЕ «СЕТИ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ» 86
А.А. Матросов, А.В. Егоров, К.Ю. Свиридов
ЗАЩИЩЕННЫЙ КЛАСТЕРНЫЙ СЕРВЕР С ТЕРМИНАЛЬНЫМ ДОСТУПОМ НА ОСНОВЕ WINDOWS SERVER 2003 89
В.И. Никонов
МАРШРУТИЗИРУЕМЫЙ СЕРВИС ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ 92
И.А. Простак
ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО СКРЕМБЛЕРА НА DSP 95
В.В. Шуринов
АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СТАНДАРТА КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГОСТ 28147–89 98
П.А. Синегубов, А.А. Котельников, В.С. Карякин
ЗАЩИЩЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ СЕРВЕР С ТЕРМИНАЛЬНЫМ ДОСТУПОМ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ 102

СЕКЦИЯ 3
АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, БЫТОВАЯ РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА И СЕРВИС

С.Н. Белоносова
ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В ПРОГРАММЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПУСКОВ КОСМИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ИМЕНИ КЕННЕДИ 105
И.С. Лазарев
БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЗВУКОВЫХ СООБЩЕНИЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЕЙ XBee КОМПАНИИ MaxStream 108
Л.С. Никифорова
СИСТЕМА МНОГОСИГНАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ И МОНИТОРИНГА СПУТНИКОВОГО РЕТРАНСЛЯТОРА 110
Н.С. Новикова
ИСТОЧНИКИ ПОДСВЕТА ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ КАМЕР 113

П.Е. Орлов
АЛГОРИТМ МЕТОДА FSV ДЛЯ СРАВНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 116
А.С. Попов, И.И. Альянков
ПЛАН ЧАСТОТНЫХ ПРИСВОЕНИЙ И ВЫДЕЛЕНИЙ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ЭФИРНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ 119
А.С. Попов
СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМИ РАДИОТЕЛЕВИЗИОННЫМИ ПЕРЕДАТЧИКАМИ 121
И.Е. Самотин, А.М. Заболоцкий
МОДАЛЬНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОПАСНОГО ИМПУЛЬСА В ТРЕХ ОТРЕЗКАХ КАБЕЛЯ СИЛОВОГО ПИТАНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ НА ПАССИВНОМ ПРОВОДНИКЕ 123
Т.Н. Савельева
ОТКАЗЫ И НЕПРЕДВИДЕННЫЕ СИТУАЦИИ В РАБОТЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ, СВЯЗАННЫЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОМЕХАМИ 126
О.В. Сионина
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ 129
С.Т. Сивцев
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ДОПУСКА ОБНУЛЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ СЛАУ ИТЕРАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ 132
С.А. Ткачева, Н.И. Богатырева
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЕМЕЙСТВА MPEG 135
А.В. Толок
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕСИММЕТРИЧНОГО ВИБРАТОРА НА ИДЕАЛЬНО ПРОВОДЯЩЕЙ ПЛАСТИНЕ И В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ КОРПУСЕ СО ЩЕЛЯМИ 137

СЕКЦИЯ 4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИОМЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ

П.В. Бомбизов, С.Х. Васильев, А.Г. Егоров, А.Л. Шипицын
ЭЛЕМЕНТЫ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКИ 140
А.А. Томашевич, А.В. Дениско, С.Г. Еханин
ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ АНАЛОГ ПОЛИТРОНА 142
А.Г. Егоров
ЭЛЕМЕНТЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ 145
В.М. Карабан
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 148
С.А. Зорин, Е.В. Николаева, Е.С. Новикова, А.П. Санников, К.К. Шульженко, С.Г. Еханин
УСТРОЙСТВО ПОИСКА ГЕОПАТОГЕННЫХ ЗОН 150
П.М. Пинкольский
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ЦИНКА С ЭЛЕКТРОДА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОРА ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА 153

А.С. Лозовецкий, И.А. Никифоров, Ф.Г. Попов, С.Г. Еханин
УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ
НА ОСНОВЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СЧЕТЧИКА 156
С.М. Овчинникова, А.А. Соколов
УСТРОЙСТВО ПОИСКА ЛЮДЕЙ ПОД ЗАВАЛАМИ 158

СЕКЦИЯ 5

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Т.Х. Бибиков, А.Г. Лощилов, А.А. Беспалько
ОБЗОР МЕТОДОВ АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД 162
А.А. Ильин
БИБЛИОТЕКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА
ДЛЯ ДВУХЦВЕТНОГО ЖК-ИНДИКАТОРА 169
А.Г. Кан
РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
МАЛОЙ МОЩНОСТИ: ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ 171
А.Ю. Хлебников, Т.Х. Бибиков, А.Г. Лощилов
ОБЗОР РЫНКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД 173
А.Ю. Хлебников, А.А. Бомбизов, А.Г. Лощилов
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РЕГИСТРАТОРА
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ (РЭМАС-1) .. 178
А.А. Ладур, О.Ю. Морозов
РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СВЧ-ЗОНДА ДЛЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ
МИКРОСХЕМ НА КРИСТАЛЛЕ 183
Е.В. Саратов, О.В. Дейс, А.В. Голиков
МОНОЛИТНАЯ GaAs-ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА АКТИВНОГО
БАЛАНСНОГО СМЕСИТЕЛЯ С ЛИНЕЙНОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКОЙ МСА2014 187
Е.В. Саратов, О.В. Дейс, А.В. Голиков,
МОНОЛИТНАЯ GaAs-ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА
УСИЛИТЕЛЯ-ОГРАНИЧИТЕЛЯ 190
А.А. Жуков
УСТРОЙСТВО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА E&M
В ИНТЕРФЕЙС ETHERNET 193

СЕКЦИЯ 6

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

А.Ю. Абрамов, И.Г. Боровской
АВТОМАТИЗАЦИЯ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ 196
Д.Б. Аюров, Д.Г. Буянова, Ю.Б. Башкуев
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА
ДАННЫХ СПУТНИКА DEMETER 197

Л.А. Добронравова, А.В. Галинова, М.Ю. Катаев
МОДЕЛИРОВАНИЕ 3D-ПОМЕЩЕНИЙ СРЕДСТВАМИ OPENGL.....199
Л.А. Голубенкова, И.М. Федотенко, С.А. Курлаев
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ.....200
А.В. Козлов
РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ОТОБРАЖЕНИЕМ ДАННЫХ СИСТЕМЫ «1С: УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ» В ИНТЕРНЕТЕ 203
Е.К. Красовская, В.Н. Скороспешкин
ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА «РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУТП».....206
А.В. Кулькова, И.Г. Боровской
ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТРЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ 209
Д.И. Кузнецов, М.Ю. Катаев
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ.....211
А.К. Лукьянов, М.Ю. Катаев
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАННЫХ ОТРАЖЕННОГО ОТ ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....212
С.А. Новгородцев, М.Ю. Катаев
КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И CO_2 214
П.А. Пяк, М.Ю. Катаев
ИТЕРФЕЙС МОДУЛЯ ДОКУМЕНТООБОРОТА И МОНИТОРИНГА ПРЕДПРИЯТИЯ СИСТЕМЫ «ПАРАД-М».....213
Е.Ю. Разгайлова, Т.В. Евсюткин
ОБРАБОТКА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДАМИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАНДАРТА GEOTIFF 217
С.Ю. Семченков
ПОСТРОЕНИЕ КУБА ИНТЕРЕСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В OLAP-СИСТЕМАХ.....219
А.В. Скороходов
ОБРАБОТКА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ СПЕКТРОРАДИОМЕТРА MODIS.....222
А.С. Шпока
МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ WINDOWS-ПРИЛОЖЕНИЕМ.....225
Р.И. Уколов
ГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ.....226
М.В. Григорьева, А.А. Лощинова, О.С. Жеребцова
АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА ВУЗА НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ «УНИВЕРСИТЕТ» КОМПАНИИ REDLAB.....227
А.Г. Андреев, П.Е. Беляев, М.Ю. Катаев
ВОССТАНОВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ CO_2 МЕТОДОМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ 230

Д.М. Кривенцов, М.Ю. Катаев
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ IPTV- И ИНТЕРНЕТ-ВЕЩАНИЯ 232
А.В. Лончин, М.Ю. Катаев
УЧЕТ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ СИГНАЛА
ПАССИВНОГО САМОЛЕТНОГО МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОМЕТРА 235
Е.В. Полонская
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
СУБД POSTGRESQL, MYSQL И MS ACCESS 237
Я.А. Хамаганов, М.Ю. Катаев
ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ ВИДЕОКОМПЛЕКС АНАЛИЗА
ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА 240

СЕКЦИЯ 7

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

М.Ю. Аверкина, Н.С. Басько, Е.С. Гриднева, В.И. Иткин
ДИНАМИКА ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА
В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ
ИМПУЛЬСАМИ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ..... 243
Е.В. Чебаткова
РАСЧЕТ ХОДА ПУЧКА ЛУЧЕЙ ЧЕРЕЗ ФОКОН..... 246
Е.С. Черкашин, А.П. Коханенко, С.Н. Шарангович
КОМПЛЕКС ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ
ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА И СОЗДАНИЮ СЕТИ НА ОСНОВЕ
АППАРАТУРЫ ЦВОЛТ СЕРИИ «ТРАНСПОРТ-8Х30» 248
С.А. Давыдов, П.А. Тренихин
ФОРМИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНОЙ ФОТОННОЙ СВЕРХРЕШЕТКИ
В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ
ПРОЕКЦИОННЫМ МЕТОДОМ..... 251
А.И. Глебова, А.В. Шапорев
СТРУКТУРИРОВАННАЯ КАБЕЛЬНАЯ СЕТЬ ОФИСНОГО ЗДАНИЯ 253
И.С. Григорьев, Д.Н. Хатьков, П.А. Чернышов
ДИАГНОСТИКА ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ МЕТАЛЛА
МЕТОДОМ СВОБОДНЫХ И ЛОКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ..... 256
И.С. Ибрагимов, Л.В. Загребин, Р.В. Литвинов,
Н.Д. Хатьков, Л.И. Шангина
АНИЗОТРОПИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО СВЕТОРАССЕЯНИЯ
В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СПЕКТРАХ КОНГЛОМЕРАТОВ
НАНОКОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ
И МАГНЕТИТА ЖЕЛЕЗА..... 258
В.И. Иткин, Т.Н. Дудик, О.В. Позак, И.Л. Михеев, А.В. Погадаев
ДИНАМИКА ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА
В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА, ЛЕГИРОВАННОМ ЖЕЛЕЗОМ.. 260
Д.Н. Хатьков, Н.Д. Хатьков, С.И. Романов
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ
ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ ДВУХКАНАЛЬНОГО
ЛАЗЕРНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА 263

В.Г. Круглов, В.М. Шандаров, Ф Чен, Я Тан
ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕМНЫХ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СОЛИТОНОВ В ПРОТОННО-ИМПЛАНТИРОВАННОМ ПЛАНАРНОМ ВОЛНОВОДЕ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ 265

Ю.М. Андреев, Г.В. Ланский
ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В КРИСТАЛЛАХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $CDSI_{1-X}GE_XP_2$ 267

А.Н. Логвиненко, А.С. Акрестина
СПЕКТРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ $Bi_{12}SiO_{20}$, НАВЕДЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЕМ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА 270

А.С. Лыков, Л.А. Кузьмина, Е.Б. Пучинина, И.С. Тонышева, С.Н. Шарангович
ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАННЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР В ФОТОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ 273

А.Н. Малов, А.В. Неупокоева, Ю.А. Асаенок, С.А. Рыбакова
ЗАПИСЬ ГОЛОГРАММ ИЗЛУЧЕНИЕМ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ НА САМОПРОЯВЛЯЮЩИХСЯ СЛОЯХ ДИХРОМИРОВАННОГО ЖЕЛАТИНА 276

В.Г. Миргород, С.Н. Шарангович
ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ МНОГОПУЧКОВОЙ ЗАПИСИ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ФОТОННЫХ СТРУКТУР В ФОТОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ 279

Д.В. Фролов, А.Н. Парханюк
СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА НА ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ ГОЛОГРАММ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ С ПОМОЩЬЮ ИММЕРСИОННОГО СЛОЯ 282

А.С. Перин, С.М. Козлова
ТРАНСФОРМАЦИЯ АМПЛИТУДНЫХ ПРОФИЛЕЙ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ФАБРИ-ПЕРО 285

Е.А. Пешкова, К.А. Крицкая
ФОРМИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНОЙ ФОТОННОЙ РЕШЕТКИ В КРИСТАЛЛЕ $LiNbO_3$:Cu НЕКОГЕРЕНТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ 287

С.В. Сандаков, А.А. Плахута
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В ОДНОМЕРНЫХ ФОТОННЫХ СВЕРХРЕШЕТКАХ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ 289

В.В. Щербина, М.В. Бородин
ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ НА ПЕРИОДИЧЕСКИХ ДОМЕННЫХ СТРУКТУРАХ, СФОРМИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ В ПЛАНАРНОМ ВОЛНОВОДЕ $LiNbO_3$:Ti 292

К.С. Швец
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИНДУЦИРОВАННИЯ МАЛОЭЛЕМЕНТНЫХ ВОЛНОВОДНО-ОПТИЧЕСКИХ СТРУКТУР В НИОБАТЕ ЛИТИЯ 295

Д.О. Сивун, А.С. Акрестина
ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В КРИСТАЛЛАХ $Bi_{12}GeO_{20}$, НАВЕДЕННЫЕ ИЗЛУЧЕНИЕМ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1053 И 870 нм 297
Н.В. Слизникова, А.С. Сюваева, Е.С. Шандаров
ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СОЛИТОНОВ В ЛЕГИРОВАННОМ ЖЕЛЕЗОМ КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ 300
К.В. Тепляков
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ 304
В.Н. Терещенко, С.С. Шмаков, А.А. Колегов, С.М. Шандаров
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛЬНОГО ПУЧКА ПРИ ВСТРЕЧНОМ ДВУХВОЛНОВОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НЕМОДУЛИРОВАННЫМ ПУЧКОМ НАКАЧКИ 307
С.В. Устюжанин, С.Н. Шарангович
ДИФРАКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕОДНОРОДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ ОДНОМЕРНЫХ ФОТОННЫХ ФПМ-ЖК СТРУКТУР 309
Е.М. Винник
НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ $GaSe_{1-X}S_X$ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 312
Б.Ф. Ноздреватых, С.Н. Шарангович
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИ-УПРАВЛЯЕМОЙ НЕОДНОРОДНОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ФПМ-ЖК ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ РЕШЁТКОЙ 315

Научное издание

Научная сессия ТУСУР-2009

Материалы
Всероссийской научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
12–15 мая 2009 г., Томск, Россия
В пяти частях

Часть 1

Корректор – **В.Г. Лихачева**
Верстка **В.М. Бочкаревой**

Издательство «В-Спектр».
Сдано на верстку 01.04.2009. Подписано к печати 25.04.2009.
Формат 60×84 1/16. Печать трафаретная.
Печ. л. 20,5. Усл. печ. 19.
Тираж 150 экз. Заказ 38.

Тираж отпечатан в издательстве «В-Спектр».
ИНН/КПП 7017129340/701701001, ОГРН 1057002637768
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24, т. 49-09-91.
E-mail: bmwm@list.ru