Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова»

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ В XXI ВЕКЕ – 2014. ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА

Сборник материалов X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием
(Ижевск, 12–14 ноября 2014 года)

Издательство ИжГТУ
имени М. Т. Калашникова
Ижевск 2015

УДК 681.2(06)
П75

Оргкомитет конференции

Б. А. Якимович – председатель оргкомитета, д-р техн. наук, ректор ИжГТУ;
А. И. Коршунов – зам. председателя, д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе;
В. А. Алексеев – зам. председателя, д-р техн. наук, проф., секретарь Ученого Совета ИжГТУ;
Ю. П. Демаков – зам. председателя, декан приборостроительного факультета, ответственный организатор конференции;
В. И. Заболотских – зам. председателя, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., научный редактор сборника материалов конференции;
С. А. Мурашов – канд. техн. наук, доц. кафедры «Приборы и методы контроля качества», технический редактор сборника материалов конференции;
И. К. Ижболдин – технический директор ОАО «Ижевский мотозавод «Аксион-Холдинг»;
Ю. К. Шелковников – д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр. Института механики УрО РАН;
А. Г. Серяков – зам. главного конструктора ОАО «Ижевский радиозавод»;
Д. В. Бохонько – технический директор ДООО «ИРЗ – Локомотив»;
А. П. Александров – главный конструктор ОАО «ИЭМЗ «Купол»;
С. Н. Куртеев – директор филиала ОАО «МТС» Удмуртской Республики;
А. А. Шперлинг – директор филиала ОАО «Ростелеком» по Удмуртской Республике;
С. А. Петрушин – канд. техн. наук, директор ООО «Республиканский центр робототехники»;
В. П. Таранухa – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры», рук. секции 1;
В. В. Муравьев – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Приборы и методы контроля качества», рук. секции 2;
Г. В. Ломаев – д-р техн. наук, профессор кафедры «Приборы и методы контроля качества», рук. секции 2;
В. К. Барсуков – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Электротехника», рук. секции 3;
А. И. Нистюк – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Сети связи и телекоммуникационные системы», рук. секции 4;
А. Н. Копысов – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Радиотехника», рук. секции 4;
В. В. Бесогонов – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Института прикладной механики УрО РАН, рук. секции 5;
А. А. Айзикович – канд. физ.-мат. наук, доц., зав. кафедрой «Прикладная математика и информатика», рук. секции 6;
В. А. Глушков – канд. техн. наук, доц. кафедры «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры», директор «СКБ космического приборостроения им. В. А. Шутова».

П75 **Приборостроение в XXI веке – 2014. Интеграция науки, образования и производства** : сб. материалов X Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 12–14 нояб. 2014 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. – 615 с. – 14 Мб.

ISBN 978-5-7526-0699-1 (Электронное издание)

В сборник вошли материалы секций конференции. Рассматривается широкий круг вопросов в области приборостроения.

Для специалистов в области приборостроения, аспирантов, магистрантов и студентов.

УДК 681.2(6)

ISBN 978-5-7526-0699-1
(Электронное издание)

© ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова», 2015

Содержание

Краткие сведения о компании *Keysight Technologies* 9

Пленарная секция

Барсуков В. К. Кафедре «Электротехника» – 60 лет 10

Демаков Ю. П., Косарев О. В. Совместная деятельность предприятия и факультета по повышению качества подготовки инженерных кадров 33

Секция 1. **Конструирование и производство электронных средств. Космическое приборостроение**

Белослудцев В. Н., Бояринцева Е. С., Широбоков В. Н., Глушков В. А. Моделирование движения спутника по орбите 38

Бердников А. С. Разработка частотного диплексера в модуле формирования сигнала ошибки для системы управления антенной 42

Бушмелева М. А., Фардеев М. И. Исследование кардиосигнала по его спектру 46

Вахрушев Н. В., Никитина А. А., Пьянков И. Н., Рязанов М. Н., Глушков В. А. Принцип работы ГЛОНАСС 49

Вахрушев Н. В., Никитина А. А., Пьянков И. Н., Рязанов М. Н., Глушков В. А. Пример формирования спутника формата *CubeSat* 53

Гравшин В. Г., Долгачева Л. О., Петров Д. А., Хайрутдинов И. А., Глушков В. А. Особенности микроэлектронной техники космического применения 58

Первякова Ю. А., Уразманова О. И., Симкина Е. В., Бабошкина А. А., Глушков В. А. Анализ радиационных воздействий на электронную технику космического применения 61

Пушкарев Е. С., Шаура А. С. Расчет поглощенных доз ионизирующих излучений космического пространства 65

Тарануха В. П., Петрушин С. А., Глушков В. А. Концепция спутникового мониторинга реэкспорта товаров на территорию РФ 67

Федорова И. Н. Влияние габаритных размеров на характеристики RC-структур 70

Чумаков В. В., Тарануха В. П., Глушков В. А. Современные тенденции в области технологии планетариев. Перспективы развития планетария в Ижевске 75

Чумаков В. В., Тарануха В. П., Петрушин С. А., Глушков В. А. Концепция создания изображения без проекционного экрана 81

Шихирин В. Н. Анализ и классификация основных законов Природы с позиций структуризации материи, энергии, информации и времени 84

Шихирин В. Н. Принципы перемещения транспортных средств с эфирными движителями в условиях Мирового (структурного) Эфира Дмитрия Менделеева 123

Шкляев К. О. Исследование влияния отклонения геометрических параметров и неоднородностей свойств среды на характеристики микрополосковых фильтров 150

Секция 2. **Приборы в промышленности, здравоохранении и экологии**

Бабкин С. Э. Частотный метод определения коэффициента Пуассона..... 155

Беляева Е. А., Муравьев В.В. Влияние дефектов на выход годных при производстве герметичных танталовых объемно-пористых конденсаторов с жидким электролитом 158

Богдан О. П., Вершинина Л. П., Дудина Ю. С. Обобщенная модель поведения равновесного газового пузырька в жидкости в ультразвуковом поле 163

Волкова Л. В., Байкалова Т. Н., Булатова Е. Г. Анализ содержания теста и результатов компьютерного тестирования специалистов по магнитному виду неразрушающего контроля 168

Ермолин К. С., Шелковников Ю. К., Осипов Н. И. Построение коммутационного блока сканирующего акустического микроскопа 173

Злобин Д. В., Гиззатуллин Д. Р. Разработка пьезопреобразователей крутильных волн для контроля линейно-протяженных объектов.....177

Злобин Д. В., Гущина Л. В. Оптимизация приемно-усилительного тракта электронного фонендоскопа..... 180

Камалова Ю. Б., Муравьев В. В., Коновод А. А. Программа визуализации трехмерной векторэлектрокардиограммы..... 185

Кириллов А. И., Шелковников Е. Ю., Кизнерцев С. Р. Пьезоактюаторная установка информационно-измерительной системы для прочностных испытаний пломбировочных материалов..... 189

Колясев В. А., Копытов А. Г., Молин С. М. Защита электронных компонентов РЭА при широкополосном ударном нагружении..... 193

Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Надежность танталовых чип-конденсаторов на стадии изготовления в зависимости от качества материалов..... 198

Кулябин В. С., Грозных П. А. Инновационная система подготовки кадров для ОПК 203

Москвин Н. В., Халтурина Т. А., Стрижак В. А. Оценка качества выборки тестовых заданий 207

Муравьев В. В., Байтеряков А. В., Дедов А. И., Казаков Р. С., Леньков С. В., Белослудцев Т. Н. Изменение акустических характеристик стали 09Г2С в условиях механического растяжения 211

Муравьева О. В., Габбасова М. А., Булдакова И. В. Методы определения скорости ультразвуковых волн электромагнитно-акустическим зеркально-теневым методом контроля 217

Муравьева О. В., Соков М. Ю. Расчет акустического поля проходного электромагнитно-акустического преобразователя..... 222

Муравьева О. В., Петров К. В., Моделирование взаимодействия проходного электромагнитно-акустического преобразователя с эллипсностью прутка.....227

Мышкин Ю. В., Муравьева О. В., Леньков С. В. Влияние конструктивных параметров фазированных преобразователей на распределение поперечных волн горизонтальной поляризации при их фокусировке в трубопроводах 233

Платунов А. В. К возможности регистрации акустической эмиссии в металлических проволоках при растяжении 238

Хасанов Р. Р., Пряхин А. В., Стрижак В. А. Модификация генератора зондирующих импульсов дефектоскопа АДНШ 241
Хасанов Р. Р., Пряхин А. В., Стрижак В. А. Оптимизация параметров схемы возбуждения ЭМА датчика 246

Секция 3. **Приборы в системах управления и контроля**
Алексеев Е. Н. Методы испытания электропривода по системе «преобразователь частоты – синхронный двигатель» 253
Ардашев Е. Я., Штенников И. В. Электрические фонари периферийного освещения 257
Бабошкин Г. Д., Данилов Е. О., Ушаков П. А. Анализ частотных характеристик электрических цепей, содержащих фрактальные элементы 262
Вершинин А. С., Ворожцов А. В. Анализ стандартов для построения контрольно-измерительных систем 267
Дугаева Е. Ю., Морозов В. А. Исследование возможности повышения быстродействия и чувствительности токовых защит распределительных сетей 271
Игнатьев А. В. Анализ систем технического учета электрической энергии 276
Костромин А. Д., Стародубцева В. А. Анализ модификаций асинхронных двигателей, питающихся через преобразователи частоты 279
Кричкер С. А., Морозов В. А. Исследование динамических характеристик управляемого электромагнитного привода 283
Куликов В. А., Никитин К. А., Рогожников М. А. Источник теплового потока для градуировки и поверки датчиков плотности теплового потока погружаемого типа 287
Липанов С. И., Шелковников Е. Ю., Гуляев П. В. Устройство для изоляции игл электрохимического СТМ 292
Микешкин О. Д., Заболотских В. И. Современные методы диагностики механического состояния обмоток силовых трансформаторов 296
Морозов В. А., Воробьев Е. С. Компенсация реактивной мощности с использованием тиристорных контакторов 301
Нуруллин Б. Т. Исследование удельного потребления электроэнергии дуговой сталеплавильной печи с целью составления прогнозов для оптового рынка электроэнергии 305
Пиманова О. В. Анализ успеваемости студентов по дисциплине «Электротехника и электроника» 310
Порсев Я. А., Заболотских В. И. Выбор микроконтроллера и моделирование регистратора ударных процессов в среде *Proteus* 315
Пушин А. Л., Морозов В. А. Разработка лабораторного стенда для исследования блока управления привода вакуумного выключателя 321
Хасанов А. Р., Стародубцева В. А. Анализ исследований влияния частотного преобразователя на питающую сеть 325
Хасанов Р. И. Исследование удельного потребления электрической энергии прокатного стана 250 с целью составления прогнозов для работы на оптовом рынке электроэнергии 330
Хохряков А. П. Модернизация автоматизированной системы контроля монтажа кабельных изделий 333

Штенников И. В., Попов Т. С. Устройство бесконтактного контроля температуры резистивного испарителя 336
Штенников И. В., Четкарёв Д. П. Разработка источника питания резистивного испарителя 339
Щинов Д. С., Штенников И. В. Моделирование и анализ теплового состояния детали в процессе вакуумного хромирования 342
Щур Д. А., Стародубцева В. А. Влияние положения ротора на режим работы синхронного двигателя под нагрузкой 347

Секция 4. **Информационные технологии в радиотехнике и связи**
Баженов Н. Д., Загидуллин Ю. Т. Применение алгоритмов синхронизации, используемых в стандарте IEEE 802.11a, в ВЧ-системах связи 351
Бояршинов М. А., Караваев П. В. Применение теории игр при формировании стратегии управления режимами работы системы радиосвязи 356
Вагина В. А. Исследование качества покрытия системы цифрового радиовещания 361
Васильев О. И., Карпов О. С., Нистюк А. И. Телекоммуникационные устройства с тактильной обратной связью 364
Волков О. А. Анализ скорости передачи данных при использовании псевдослучайной перестройкой рабочей частоты 368
Волков О. А. Адаптация широкополосного сигнала к состоянию канала связи 372
Ворожцов А. В., Вершинин А. С. Телекоммуникационная сеть *Space Wire* 377
Зайцева Е. М., Шабалина О. М. Использование средств телекоммуникаций и связи для организации учебной деятельности студентов технического вуза 381
Зайцева Н. А., Нистюк А. Н. Синтез многозвенных фильтров по частотным спектрам 386
Исламов Р. И. Решение задач обеспечения внутриобъектовой электромагнитной совместимости в программных средствах 391
Калугин В. А., Шишаков К. В. Методика исследования внутриобъектовой электромагнитной совместимости сложных радиокомплексов 395
Караваева А. П., Ахатова Л. Д., Нистюк А. И., Павлова М. М. Аппаратно-программный телекоммуникационный комплекс безопасности пешеходного перехода 399
Карпов О. С., Васильев О. И., Нистюк А. И. Адаптивный пользовательский интерфейс для мобильных устройств с сенсорным экраном 403
Минин В. Е. Применение алгоритма классификации в процедуре установления соединения 407
Михайлова А. О., Зайцева Е. М., Сидорина В. А. Разработка карты музеев радиотехники и связи России с использованием средств информационных технологий 410
Надеева Д. Б., Нистюк А. И. Кодирование информации 414
Павлова М. М., Кайсина И. А. Анализ эффективности летней практики студентов направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» 418

Петрушина И. Б., Калабин А. А. К вопросу о нахождении передаточной функции в радиотехнических цепях с использованием первичных параметров 423
Поздеев Е. В. Применение помехоустойчивого кодирования при формировании сложных сигналов 429
Поздеев Е. В. Определение эффективности радиотехнических систем с точки зрения взаимного влияния структурных характеристик сигналов на их вероятностные показатели 434
Родионова И. В., Кайсина И. А., Каримова А. М., Нистюк А. И. Измерение джиттера в телекоммуникационных системах 439
Скороварова Е. А., Павлова М. М., Чунаев А. В., Абилов А. В., Сергеева О. Д. Приложения и протоколы для передачи потоковых данных по сети Интернет 443
Спиридонова П. А., Павлова М. М. Усиление сигнала сети Wi-Fi 447
Хатбуллин Р. А., Быков Р. С., Кружалова Ю. В. Устройства и принципы кодирования речи 452
Холмогоров Н. А., Копысов А. Н. Исследование уязвимостей системы IP-телефонии 454
Шишкин А. Л. Метод модуляции сигналов для систем передачи данных по электросетям 459
Шлыков Г. Н. Применение гравитационной модели в описании телекоммуникационной системы 463

Секция 5. **Физические методы в приборостроении**
Александров В. А., Калюжный Д. Г., Бесогонов В. В. ТермоЭДС в серебро-палладиевых толстопленочных резисторах при облучении импульсами лазера 468
Алексеев В. А., Усольцев В. П. Автоматическая резка корпусов боеприпасов с отделением медных поясков 474
Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И. Разработка теоретических и методических основ управления аварийными сбросами крупных промышленных предприятий 482
Алексеев В. А., Юран С. И. Использование фотоплетизмографа для контроля состояния дежурного 487
Бесогонов В. В. Применение лазеров для инициирования выпадения осадков 491
Бесогонов В. В., Бузилов С. В., Скворцова И. Н. Математическая модель обработки поверхности ситалла CO_2-лазерным излучением 497
Жуйков Б. Л., Шелковников Е. Ю., Тюриков А. В. Изготовление платиновых СТМ-игл методом среза 501
Знаменский М. С., Зарипов М. Р. Разработка оптической части прицела с лазерным дальномером 505
Саушин А. С., Михеев Г. М. Датчик знака циркулярной поляризации в широком спектральном диапазоне 510
Усольцев В. П., Девятов Н. А. Многолучевая диагностика жидких сред с измерением косвенной оптической плотности 514
Усольцев В. П., Пономарева Т. Ю. Достоверность анализа сточных вод промышленных предприятий 519

Усольцева А. В., Усольцев В. П. Особенности лазерного гравирования изделий из кожи 522
Чураков В. Л., Зонова Е. Н. Исследование переходного процесса полупроводниковых лазеров при импульсной накачке электрическим током 524
Чураков В. Л., Матвеева Л. М. Применение импульсного лазера для томографии и контроля изделий 532
Юран С. И., Чжан Т. Достижения ИжГТУ имени М. Т. Калашникова в области создания фотоплетизмографов со сниженным влиянием артефактов 539

Секция 6. **Алгоритмы и программные системы в приборостроении**
Markov E. M., Aiman Al Akkad M., Vytovtov P. K. Analysis of software code metrics for defining their priority for cocol's metric 543
Айзикович А. А., Демаков Ю. П., Коротаева Е. Н. Алгоритм определения характерных точек кардиограмм с помощью вейвлет-преобразования 546
Айзикович А. А., Климов И. З., Осипов С. А. О программной реализации метода регуляризации 551
Айзикович А. А., Спичкин Д. Н. О решении разностного уравнения первого порядка, заданном на циклической группе 556
Архипов И. О. Особенности вычисления пространственно-хроматических параметров дискретизированных структурных элементов графического изображения 557
Злобина А. Г. Оценка границ объектов на картах распределения удельного сопротивления методом нечеткой кластеризации 562
Ицков А. Г. Перечисление одного класса матриц из перестановок 566
Кривенков Р. Ю., Михеев Г. М., Зонов Р. Г., Стяпшин В. М. Автоматизированный комплекс для исследования нелинейно-оптических свойств материалов методом *z*-сканирования 569
Люминарский В. В., Шелковникова Т. Е. Идентификация СТМ-изображений наночастиц с использованием системы нечеткого логического вывода 573
Мокрова С. М. Методика фильтрации артефактов на прямой полюсной фигуре, обусловленных качеством антикатода рентгеновской трубки 578
Морозов А. В., Башар Салама. Сравнение алгоритмов управления матричным преобразователем частоты 583
Назмутдинова А. И., Милич В. Н. Использование вейвлет-преобразования при анализе многозональных изображений объектов лесной растительности 588
Немцова О. М., Малюгин Д. В. Спектральный анализ в обратной задаче электроразведки 592
Симаков В. В., Самохвалов А. В. Сравнительное тестирование методов ускорения алгоритмов цифровой обработки информации 594
Сметанин В. А., Милич В. Н. Исследование применимости бета-распределения для аппроксимации распределений значений текстурных признаков 598
Спиридонов В. В., Петухов К. Ю. Проектирование систем на кристалле 604
Фарафонов П. В., Гитлин В. Б. Погрешность оценки активности речи по энергии сигнала 609

На правах рекламы

Краткие сведения о компании *Keysight Technologies*

Keysight Technologies – мировой технологический лидер на рынке контрольно-измерительных решений для электронной, оборонной, аэрокосмической и телекоммуникационной промышленности.

19 сентября 2013 г. компания *Agilent Technologies* объявила о разделении на две независимые компании за счет выделения поздразделения электронных измерений в самостоятельную компанию. Новая компания – *Keysight Technologies* – с 1 августа работает как дочернее предприятие *Agilent*, окончательное разделение планируется завершить в ноябре 2014 г. Как самостоятельная компания *Agilent Technologies* была образована в 1999 г. в результате стратегического разделения компании *Hewlett-Packard* на *HP* и *Agilent Technologies*. Первый измерительный прибор под маркой *Hewlett-Packard* был выпущен более 70 лет назад.

В настоящий момент компания *Keysight Technologies* предоставляет самый широкий на рынке спектр контрольно-измерительных решений, в т. ч. оборудование для радиоизмерений (генераторы сигналов, анализаторы сигналов, анализаторы цепей), осциллографы и приборы общего назначения (мультиметры, генераторы импульсов, системы сбора данных, источники питания, логические анализаторы), решения для проектирования и моделирования (в т. ч. решения для автоматизации разработки электронных устройств, решения для проектирования высокочастотных/смешанных интегральных схем, решения для электромагнитного моделирования пассивных трехмерных структур произвольной формы, решения для моделирования антенн и пр.), решения для тестирования телекоммуникаций.

Среди крупнейших клиентов *Keysight Technologies* в России ведущие научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, вузы, крупнейшие операторы связи.

Информация о компании *Keysight Technologies* доступна в сети Интернет по адресу: www.keysight.ru.

Генеральный директор ООО «Кейсайт Текнолоджиз» – Смирнова Галина Владимировна.

ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Россия, 115054, г. Москва,
Космодамианская наб., 52,
строение 3

495 797 39 00 Т
495 797 39 02 Ф
www.keysight.ru

ПЛЕНАРНАЯ СЕКЦИЯ

В. К. Барсуков, канд. техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электротехника»
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Кафедре «Электротехника» – 60 лет

В 1954 году в Ижевском механическом институте была организована кафедра «Электротехника и теплотехника». В 1956 году она была переименована в кафедру «Электротехника и приборы». Состав кафедры включал заведующего кафедрой старшего преподавателя кандидата технических наук С. П. Фурсова (фото 1), ассистента С. А. Виноградову и ассистента-совместителя Э. И. Ольшанского. Кандидатская диссертация С. П. Фурсова на тему: «Глубокий ввод высокого напряжения в большие города» была защищена в совете ректора МЭИ профессора М. Г. Чиликина.

Фото 1. Фурсов Сергей Петрович

Была создана лабораторная база со следующей тематикой работ: проверка законов Кирхгофа для постоянного тока; проверка амперметра, вольтметра, счетчика электрической энергии, электродинамического ваттметра; нагрев проводников током; измерение сопротивления изоляции установки; последовательное соединение индуктивной катушки и конденсатора, резонанс напряжений; параллельное соединение индуктивной катушки и конденсатора, резонанс токов; измерение мощности в цепи однофазного переменного тока; исследование трехфазной системы при соединении потребителей электрической энергии звездой и треугольником; испытание трансформатора; испытание асинхронного двигателя; испытание синхронной машины в режиме генератора и треугольником; испытание трансформатора; испытание асинхронного двигателя; испытание синхронной машины в режиме генератора

© Барсуков В. К., 2015

и треугольником; испытание трансформатора; испытание асинхронного двигателя; испытание синхронной машины в режиме генератора и преобразователей и приборов, основанных на магнитных явлениях и эффектах; испытание двигателя и генератора постоянного тока.

В 1956 году коллектив кафедры состоял из 9 человек. Были подготовлены курсы лекций по дисциплинам основы радиотехники и телемеханики, детали приборов, автоматика и телемеханика, электропривод и электрооборудование кузнечнопрессовых машин и станков.

Поставлены лабораторные работы: электромагнитные реле, тахогенераторы, дистанционная передача угла на сельсинах, магнитный усилитель, электромашинный усилитель, исполнительные двигатели.

В конце 50-х годов состав кафедры значительно увеличился. Появились дисциплины специализации по электротехнике и электронике, по приборам, счетно-решающим устройствам, электрорадиоматериалам, теории приборов, деталям приборов, электронным и ионным приборам.

Преподаватели С. А. Виноградова, В. В. Шамаро, Г. А. Мурзыков, А. И. Жаравин, М. В. Козлова, Е. Д. Зайденберг, В. М. Третьяков, И. М. Рычков, М. Д. Хабенский, Ю. А. Лебедев, Д. А. Винокгойз, С. Н. Никитин, В. М. Меженин, преподаватели-совместители Родионов, Пекшуров, Аргаманов, Ерухимович, Аксельрод, Шонин осуществляли подготовку студентов на всех факультетах: ТМ, ОД, М, Е, А.

В 1958/59 учебном году из кафедры электротехники выделилась кафедра «Приборы», которая была позже преобразована в кафедры «Счетно-решающие приборы и устройства», «Радиотехнические устройства», «Детали приборов». На базе кафедр создан приборостроительный факультет. Кафедра «Электротехника» в составе приборостроительного факультета в 1960–1969 годах проводила занятия по следующим дисциплинам: общая электротехника; электрооборудование станков; электрооборудование кузнечнопрессовых машин; теоретические основы электротехники; электрические машины; микромашины; электропривод; основы промышленной электроники.

Заведующими кафедрой электротехники были Э. В. Дмитриев (1963), Г. И. Суслов (1963–1968), А. С. Потапов (1968–1971).

Преподаватели кафедры Г. Н. Бельцевич, Э. В. Дмитриев, Е. М. Артемьева в 1962–1969 годах обучались в аспирантуре Московского энергетического института (при кафедре ТОЭ).

С 1971 года заведовал кафедрой кандидат технических наук Ломаев Г. В. Перечень преподаваемых дисциплин пополнился курсом «Радиоизмерения» для специальности 0608.

Кафедра пополнилась молодыми преподавателями и инженерами. На кафедре работали преподаватели канд. техн. наук В. С. Черепанов,

А. К. Долбещенков, Н. Н. Глумаков, Г. И. Неустроев, Р. А. Галимов, Э. А. Герасимова, А. А. Григорьев, Г. И. Корюкова, Б. А. Шиляев, О. С. Дородов, канд. техн. наук А. Д. Толчинский.

На кафедре сформировалось научное направление, связанное с разработкой преобразователей и приборов, основанных на магнитных явлениях и эффектах. Стал выполняться большой объем хоздоговорных работ. В рамках научного направления кафедры подготовили и защитили кандидатские диссертации Ю. М. Мерзляков, В. К. Барсуков, В. В. Филинов, С. И. Юран, А. А. Штин, В. С. Малышев, С. В. Леньков, А. Н. Исупов. Закончили аспирантуру С. П. Перепелов, А. Н. Гуляева, С. Б. Машкович, В. Л. Смолович. Закончил аспирантуру и защитился И. А. Куликов (фото 2).

Фото 2. Коллектив кафедры в восьмидесятые годы

Другая научная тематика, развивавшаяся на кафедре, была связана с электроэнергетическим направлением. Выполнялись темы по разработке приборов для определения мест повреждения в линиях электропередач и передачи информации с контролируемых объектов энергетических систем на диспетчерский пульт. По этой тематике работали А. С. Потапов, Б. А. Шиляев, Н. П. Кочетков, С. И. Гурин, доцент, канд. техн. наук

Н. А. Гончар. В рамках второго направления защитили кандидатские диссертации С. И. Гурин и Н. П. Кочетков.

Кафедра получила научное признание за пределами республики.

В 1982 году на кафедре была открыта специальность 0653 «Физические методы и приборы контроля качества» для подготовки инженеров-физиков. Была проделана большая работа по разработке учебно-методической документации по новой специальности. Коллектив кафедры пополнился за счет преподавателей-совместителей д-р техн. наук В. А. Трапезникова, д-р техн. наук Э. С. Горкунова, д-р техн. наук В. А. Захарова, д-р физ.-мат. наук В. А. Комарова из вновь открытого в г. Ижевске Физико-технического института (ФТИ). Между ФТИ и ИМИ установилось долгосрочное сотрудничество. С целью развития специальности 0653 она в 1984 году приказом ректора была передана на «умирающую» к тому времени кафедру «Детали приборов».

В 1984 году кафедру электротехники возглавил доцент, канд. техн. наук В. К. Барсуков. С этого времени проводилось планомерное переоснащение лабораторной базы для учебного процесса и проведения научно-исследовательской работы. Организовано производство научных разработок кафедры. Были переоборудованы и переоснащены лаборатории электрических цепей, лаборатории ТОЭ и измерительной техники были оборудованы классами контролирующих машин. По всем лабораторным работам разработаны материалы программированного контроля. Лаборатории были рассчитаны на проведение занятий с целой группой, оснащены современными измерительными приборами, стендами, тематическими планшетами с плакатами по электротехнике, электрическим машинам, электронике. Предусмотрено применение диа- и слайдопроецирущей аппаратуры. Лабораторные стенды были изготовлены силами кафедры, а материалы и оборудование приобретены за счет средств НИР. В создании и совершенствовании лабораторной базы активное участие принимали студенты.

С 1984 года кафедра осуществляла подготовку студентов всех факультетов института различных форм обучения специальностей 0608, 0705, 0303, 1753, 1738, 0542, 0501, 0538, 0503, 0504, 1202, 1205, 0539, 0653, 0656«М», 0301, 0302, 0542ц, 0542«А» и «В», 13.06, I7.11, 13.04, 21.06, 23.01 по дисциплинам: электротехника; электрические машины; промышленная электроника; основы теории электрических цепей; теоретические основы электротехники; основы метрологии и измерительная техника; электротехника с основами электроники; электротехника и электропривод; электротехника, электроника и импульсная техника; электротехника, электропривод станков и основы электроники; электротехника, электроснабжение в строительстве; электротехника и основы

электроники; электротехника и основы промышленной электроники; электрические измерения; автоматика и автоматизация в строительстве; электротехника и промышленная электроника; электротехника и электрические оборудование; основы метрологии и радиоизмерения; основы стандартизации, метрологии и измерительная техника; электроприводы промышленных роботов; инженерные сети и оборудование зданий и сооружений.

В 1993–1994 годах кафедра обеспечивает изучение следующих дисциплин: электротехника, электроника и микропроцессорная техника (спец. 12.02, 12.04, 12.01); теоретические основы электротехники и электроники (спец. 22.03; 22.03 + 01.02; 21.06); электротехника и промышленная электроника (спец.12.05); электротехника и основы электроники (спец. 13.04; 13.06; 17.11); основы метрологии, радиоизмерения (спец. 23.01); основы метрологии и АСНИ (спец. 23.03); инженерные сети и оборудование зданий и сооружений (спец. 29.03 без ТГВ); электротехника и электрооборудование (спец. 29.03 ТГВ); электротехника (спец. 22.01).

Штаты кафедры: 13 преподавателей, 5 человек учебно-вспомогательного персонала. В числе преподавательского состава 4 доцента, кандидата технических наук (Е. М. Артемьева, В. К. Барсуков, А. А. Штин, О. Ф. Долинина), 5 старших преподавателей (А. С. Потапов, А. Н. Гуляева, Л. Я. Тихонова, Б. А. Ситников, З. М. Русакова), 4 ассистента (А. Н. Беликова, О. В. Пиманова, В. В. Мезрин, О. М. Мишинев на 0,5 ставки). Все преподаватели прошли повышение квалификации, в том числе курсы по ВТ. Основные базы повышения квалификации – МЭИ (кафедры ТОЭ, электротехники и интроскопии), ФТИ УНЦ Российской Федерации, п/о «Ижмаш», НИТИ «Прогресс».

Преподаватели кафедры руководили научно-исследовательской работой студентов. Ежегодно на кафедре выполнялись дипломные проекты по оригинальной тематике.

В 1988 году кафедрой была проведена Всероссийская студенческая конференция «Датчики в информационно-измерительных системах». Студентами кафедры сделано 6 докладов. Кафедра ежегодно готовила команду на зональную олимпиаду по электротехнике и Всероссийскую олимпиаду по ТОЭ. В 1990 и 1991 годах кафедра проводила зональные туры Всесоюзной олимпиады по электротехнике. Команда ИМИ занимала второе и первое места.

Студенты кафедры участвовали с докладами на Всероссийских студенческих научных конференциях.

Первые научные работы на кафедре «Электротехника» включали работы по содружеству с заводами Ижевска. Содружество было направле-

но на выявление возможности разработки и изготовления универсального двигателя повышенной частоты для электропилы. Проводилась работа совместно с кафедрой металлорежущих станков, резания металлов и технических измерений по выявлению методов контроля наименьшей толщины стенок стволов ружья ИЖ-54.

В 60-е годы тематика научных работ значительно расширилась. Проводились следующие работы: выявление возможности замены генератора и реле регулятора мотоцикла ИЖ термоэлектрогенератором; улучшение технических и эксплуатационных характеристик электропил; преобразователь частоты и числа фаз для электропилы; выпрямители для зарядки мотоциклетных аккумуляторов; сравнительная оценка анодных окисных пленок как выпрямителей переменного тока; магнитная обработка воды для котлов; влияние электролитического полирования на эксплуатационные характеристики шестерен.

Результаты исследований были опубликованы, получены авторские свидетельства (более 60). Руководитель работ канд. техн. наук С. П. Фурсов впоследствии был удостоен звания лауреата государственной премии Молдавской ССР.

В 90-е годы на кафедре сложились следующие научные направления:

– Разработка методов и средств неразрушающего контроля (руководитель канд. техн. наук В. К. Барсуков).

– Анализ и разработка систем преобразователь – электрическая машина (руководитель канд. техн. наук О. Ф. Долинина).

– Разработка математических моделей и методов планирования эксперимента (руководитель канд. техн. наук Е. М. Артемьева).

В рамках первого научного направления выполнен ряд госбюджетных и хоздоговорных НИР, в том числе несколько ОКР. Разработаны методы и средства контроля поверхностных слоев ферромагнитных материалов методом эффекта Баркгаузена. Разработаны и освоены в производстве магнитные структуроскопы МС-20Б, МС-24Б, термоэлектрический структуроскоп ТЭС-2. Приборы выпускались опытными партиями на производственном участке при кафедре. По данному направлению получено более 40 авторских свидетельств. Разработки экспонировались на международных выставках («Новые вещества и материалы», – Финляндия, Хельсинки (1987), «Автоматизация – 89» – Москва (1989), на ВДНХ СССР («От фундаментальных исследований до практического внедрения» – Москва (1991)). Разработки награждены двумя бронзовыми и одной серебряной медалями ВДНХ СССР. Тематика работ была включена в комплексную программу Минвуза СССР «Неразрушающий контроль и диагностика» (Головная организация МЭИ (В. Г. Герасимов), Головная организация МВТУ им. Н. Э. Баумана (А. Н. Алешин)).

В рамках второго направления разработана технология использования отработанных двигателей наружных насосов типа ПЭД-32ВД при производстве электрических машин для бытовых целей. Разработан асинхронный конденсаторный двигатель мощностью 2 кВт. На основе двигателя разработан и освоен в производстве универсальный деревообрабатывающий станок.

В середине 90-х годов на кафедре обострилась кадровая проблема. Процент преподавателей со степенями и званиями снизился до 36 %. В последующие годы после выделения специальности 0653 с кафедры ушли доценты Л. И. Вологжанин, Ю. М. Мерзляков, Л. А. Тюриков. Выпускающие кафедры «Радиотехника» и «Приборы и методы контроля качества» стали вести дисциплины «Теория электрических цепей» и «ТОЭ». Сложилось так, что кафедру «Электротехника» не проходили студенты приборостроительного факультета, что исключило возможность подготовки кадров под научное направление кафедры через студенческую научную работу и аспирантуру. На кафедре вынужденно пришлось свернуть научные работы, связанные с магнитными методами контроля.

Были предприняты попытки найти место кафедры в подготовке специалистов в новых сложившихся условиях. К тому времени на многих предприятиях наметился дефицит в инженерах-электриках. Это объяснялось тем, что прекратился приток специалистов из центральных вузов, а затраты на социальное обустройство специалистов из других регионов для предприятий стали непосильными. Потребности региона частично закрывались за счет выпускников факультета электрификации ИжСХА, но из-за отраслевой направленности они не всегда отвечали запросам предприятий.

В 1995 году в перечне специальностей ВПО появилась новая специальность 181300 «Внутризаводское электрооборудование», открытая по инициативе заведующего кафедрой ЭПП МЭИ д-ра техн. наук профессора Б. И. Кудрина Открытие этой специальности в ИжГТУ ввиду ее широкой направленности закрывало многие проблемы предприятий Удмуртии и региона в специалистах по электроснабжению, электрооборудованию, электроприводу. При поддержке предприятий республики, в первую очередь ОАО «Ижсталь», правительства республики, в 1996 году специальность была открыта в ИжГТУ на кафедре «Электротехника». С 2000 года специальность имеет новый шифр и название – 140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений».

Открытие новой специальности потребовало освоения дисциплин: материаловедение, технология конструкционных материалов; физиче-

ские основы электроники; метрология, стандартизация и сертификация; электрические машины; электрические и электронные аппараты; электрический привод; схемотехника цифровых и аналоговых устройств; микропроцессорные устройства и их применение; основы автоматического управления; электрооборудование в промышленности; внутризаводское электроснабжение и режимы; проектирование электротехнических устройств; автоматизация управления системами электроснабжения; потребители электрической энергии; экономика электропотребления в промышленности; монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения; электрические сети и системы; силовые преобразовательные установки; автоматическое управление электроприводами; электропривод и автоматизация металлорежущих станков.

Кафедра пополнилась новыми преподавателями (фото. 3).

Фото. 3. Коллектив кафедры в девяностые годы

На кафедре стали работать доценты В. А. Стародубцева, И. В. Штенников, В. А. Жигалов, совместители из ИжСХА доценты Л. П. Савков, С. И. Юран. Перешли на постоянную работу старшие преподаватели из «ИПЭК» В. А. Морозов, из «Прикампроект» Т. В. Тикунова. В становлении специальности принимали участие К. Р. Амиров, И. Э. Сафиул-

лин. Работают совместители с ОАО «Ижсталь» старшие преподаватели Л. В. Меркушкина, С. А. Кныжов.

Защищены 3 кандидатские диссертации: В. А. Морозов (Ижевск, ИПМ, 2005), Д. В. Ушаков (Москва, МЭИ, 2011), А. Е. Фокеев (Москва, МЭИ, 2012). Работают над кандидатскими диссертациями К. С. Ефремов М. Л. Новоселов, А. В. Морозов, Б. И. Сибгатуллин, О. Л. Гизатуллина.

На кафедре работали лаборанты и сотрудники: В. В. Прохоров, Н. А. Олюнина, Н. В. Лобыгин, В. В. Шкарпеткин, Е. М. Кудрик, И. В. Леньков, Р. Ф. Кашапова, Л. Я. Айзенберг, С. П. Перепелов, С. С. Шкляев, Г. В. Ирисов, Г. Ш. Шабутдинова, А. Д. Чирков, Ю. А. Садилов, Ф. Н. Кулябина, К. В. Шишаков (сейчас канд. техн. наук кафедры «Радиотехника»), Л. П. Ушакова, Е. В. Задовский, Т. А. Липинская, В. В. Вотяков, И. А. Окутина, Н. И. Степанков, Т. В. Бабкина, О. Р. Белобородов, В. Н. Черных, А. В. Большаков, В. В. Хозяйкин, М. Л. Шемякин, канд. техн. наук Н. А. Копылов.

Заведующими лабораторий работали и работают О. В. Тарбеев, Г. П. Ажимов, В. Д. Вылегжанин, В. В. Кочнев, С. Е. Казмин, Ю. А. Спиркин, В. В. Лапин, Ф. М. Мерзляков, Е. П. Ижболдин, А. В. Соломин, О. Д. Микешкин. Большую помощь в модернизации лабораторий электротехнического цикла оказал Г. А. Тарасов. Секретарями кафедры работали: Л. А. Дерюшева, О. С. Домнина, А. Г. Парфенова, О. Л. Гизатуллина.

Открытие подготовки инженеров-электриков в ИжГТУ позволило выстроить систему многоуровневой подготовки. Первым договором о подготовке специалистов по системе «колледж – вуз» на основе интегрированных учебных планов стал договор с Ижевским промышленно-экономическим колледжем (ИПЭК). Заказчиком на специалистов выступило ОАО «Ижсталь». Была положена основа подготовки специалистов на коммерческой основе, разработаны и реализованы учебные планы профессиональной переподготовки специалистов, планы подготовки специалистов с сокращенными сроками обучения для всех форм обучения.

Заведующий кафедрой был членом Координационного совета по комплексной проблеме «Неразрушающий контроль и диагностика», председателем городского методического совета по электротехнике, членом Уральского зонального методического совета по электротехнике. С 1997 года – член учебно-методической комиссии учебно-методического объединения в области энергетики и электротехники по специальности «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений». Заседания комиссии проходили в городах: Новомосковск, 2000 г., Гомель, 2001 г., Орёл, 2003, Ижевск, 2004, Казань, 2005 г., Таганрог, 2006 г., Новочеркасск, 2007 г., Ижевск, 2008 г., Вологда, 2009 г., Тольятти, 2010 г., Екатеринбург, 2011 г., Орёл, 2012 г.).

Первый выпуск инженеров-электриков состоялся в 2000 году. Всего в 2000–2014 годах выпущено 1 112 инженеров, 91 бакалавр, 14 магистров.

Кафедра являлась пионером подготовки по среднему специальному образованию. На кафедру пришел Ф. М. Мерзляков. За короткое время были подготовлены на лицензирование три программы: «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования», «Электрический транспорт», «Контроль качества металлов и сварных соединений». На эти программы получены лицензии. Набор проводился из числа выпускников, не прошедших по конкурсу на высшее образование. Данным направлением заинтересовался О. К. Шибанов, впоследствии использовавший эти наработки для открытия Института начального профессионального образования (ИНПО). С кафедры ушли Ф. М. Мерзляков, Л. А. Дерюшева. Было выпущено две группы специалистов.

На кафедре сложилось научное направление «Системы диагностики, контроля и управления электротехническими объектами и электрооборудованием».

Сотрудничество с фирмой *National Instruments* вылилось в создание лаборатории «Схемотехническое моделирование и виртуальные измерительные системы». Приобретен пакет схемотехнического моделирования *Multisim*, факультетская лицензия. Фирмой было поставлено оборудование по обучению программному комплексу *LabVIEW*, технологиям виртуальных приборов и аппаратному обеспечению *National Instruments*, а также обучению и работе в пакете программ для моделирования электронных схем и разводке печатных плат *Circuit Design Suite for Education*.

Состав кафедры в настоящее время: канд. техн. наук, профессор В. К. Барсуков, д-р техн. наук, профессор В. И. Заболотских, Е. А. Илемкова, А. В. Желтышев, Л. В. Меркушкина, доцент В. А. Морозов, доцент А. М. Ниязов, М. Л. Новоселов, О. В. Пиманова, Б. А. Ситников, канд. техн. наук, профессор В. А. Стародубцева, М. В. Тюлькин, доцент А. Е. Фокеев, доцент Н. Ф. Хафизова, доцент И. В. Штенников, доцент А. А. Штин, д-р физ.-мат. наук, профессор В. Ю. Белашов, доцент Д. В. Ушаков, аспирант Б. И. Сибгатуллин (фото 4).

В последние годы кафедра активно занимается вопросами качества электрической энергии, разработкой систем измерения показателей качества электрической энергии, системами коррекции формы питающего напряжения, энергосберегающими технологиями. Разработки студентов и аспирантов в этой области отмечены на сессиях инновационных проектов в ИжГТУ, инновационных форумах Удмуртской Республики, всероссийских выставках и форумах.

С 2000 года по 2007 год внебюджетная подготовка осуществлялась структурным подразделением «Электротехнический институт». Создание структурного подразделения дало положительный эффект: сделан ремонт кафедры, приобретено компьютерное оборудование, приобретено оборудование для виртуальных лабораторных работ.

В 2004 году в Ижевске проведена Всероссийская конференция с международным участием «Электрооборудование, электроснабжение, энергосбережение», заседание учебно-методической комиссии УМО по специальности «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» (сентябрь, 2008 г.). Эти мероприятия получили широкий резонанс среди научной и педагогической общественности республики.

Фото. 4. Коллектив кафедры. 2014 год

Большая заслуга членов кафедры в организации мероприятий, посвященных 100-летию со дня рождения выдающегося ученого, нашего земляка, основателя радиолокации, основателя и первого директора Института интроскопии П. К. Ощепкова Проделана огромная работа по сохранению научного и биографического его наследия. В качестве представителя от Удмуртской Республики В. К. Барсуков выступал в 2008 году на 7-й Международной конференции по неразрушающему контролю и технической диагностики в г. Москве на торжественном пленарном заседании, посвященном этой юбилейной дате, руководил секцией

«Ощепковские чтения» Всероссийской конференции «Приборостроение в XXI веке» (Ижевск, ИжГТУ, 2008 г.).

В. К. Барсуков как эксперт по кластеру «Приборостроение» принимал участие в проектном семинаре «Стратегия социально-экономического развития Удмуртской Республики до 2025 года» (сентябрь, 2008 г.).

При участии кафедры на факультете послевузовского дополнительного профессионального образования организовано повышение квалификации специалистов по программам «Проведение энергетических обследований с целью повышения энергетической эффективности и энергосбережения» и «Услуги сетевых компаний в условиях рынка электрической энергии».

В связи с реформированием на федеральном уровне системы образования была сформирована одна программа для обучения бакалавров из двадцати программ специальностей. Программа «Электроэнергетика и электротехника», модуль «Электротехника» содержит 12 программ бакалавриата, модуль «Электроэнергетика» – 8 программ бакалавриата. Из программ модуля «Электроэнергетика» была открыта новая программа бакалавриата «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем». Два года набор проводился на обучение по двум программам бакалавриата, но общий набор не был увеличен, и руководством университета принято решение о сокращении набора на указанную программу бакалавриата из-за малого числа студентов.

При подготовке к реализации программы магистратуры «Силовые электронные и микропроцессорные аппараты» были разработаны курсы: компьютерное управление технологическими комплексами, электромеханические силовые и электронные аппараты, автоматизированное проектирование электротехнических устройств, автоматизированное управление технологическими процессами в электроэнергетике и электротехнике, основы автоматического управления импульсных систем силовой электроники, схемотехнические способы повышения частоты коммутации силовых электронных ключей, микропроцессоры и системы управления аппаратами на их основе, анализ и синтез электрических цепей с электронными, магнитными и полупроводниковыми элементами, электромагнитная совместимость силовых электронных аппаратов и электротехнических комплексов, прогнозирование надежности электронных аппаратов, динамические характеристики силовых электронных ключей.

Проведены научно-исследовательские работы по темам: «Создание перепрограммируемых виртуальных измерительных систем диагностики электротехнического оборудования», «Разработка устройств коррекции формы питающего напряжения», «Разработка микропроцессорных уст-

ройств управления и защиты». Работы выполнялись при поддержке «Фонда содействия малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «У.М.Н.И.К.» (2 проекта), участии в проекте НК-347П «Проведение поисковых научно-исследовательских работ в области технических наук в рамках мероприятия 1.4 Программы» в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы».

Перечень хоздоговорных и госбюджетных работ, выполненных на кафедре «Электротехника»

1. ЛУК-71 Исследование высокоточных преобразователей «угол-код» и разработка 15-ти разрядного макетного образца преобразователя «угол-код» (1 июля 1971 г. – 31 декабря 1973 г., заказчик: п/я А-I845). Руководитель Ломаев Г.В.
2. П-8-72 Разработка и изготовление телеметрического устройства сбора, запоминания и передачи информации с контролируемых объектов энергетических систем на диспетчерский пульт. (1 апреля 1972 г. – 30 июня 1973 г., заказчик: Глазовские электрические сети). Руководитель Шиляев Б.А.
3. ФЭБ-3 Разработка и внедрение методики контроля твердости стальных деталей» (1 августа 1972 г. – 31 декабря 1973 г., заказчик: ЭГЗ г. Сарапул). Руководитель Ломаев Г.В.
4. П-11-72 Проектирование и изготовление дифференциального магнитного прибора для контроля структуры и пористости металлокерамических деталей» (10 июля 1972 г. – 25 декабря I972 г., заказчик: п/о «Ижмаш»). Руководитель Черепанов В.С.
5. П-10-72 Исследование и разработка датчиков Баркгаузена для измерения угловых скоростей. (29 декабря 1972 г. – 31 декабря 1973 г., заказчик: – Пермский филиал ВНИИБ). Руководитель Ломаев Г.В.
6. П-15-74 Разработка, изготовление и внедрение прибора для контроля твердости изделий из конструкционных сталей. (1974–1975 гг., заказчик: завод «Нефтемаш»). Руководитель Шиляев Б.А.
7. П-11-75 Теоретическое исследование, разработка и изготовление действующего макета цифрового интегратора линейных ускорений судна. (1 января 1975 г. – 25 июня 1976 г., заказчик: п/я В-8662, г. Ленинград). Руководитель Толчинский А.Д.
8. П-23-75 Разработка, исследование и изготовление прецизионных преобразователей «угол – код» и «давление – код» (2 апреля 1975 г. – 30 сентября 1977 г., заказчик: ИКИ АН СССР). Руководитель Исупов А.Н.

9. П-1-77 Разработка информационной измерительной системы для исследования параметров скачков Баркгаузена и физических основ теории и применения метода магнитного шума для неразрушащего контроля качества ферромагнитных материалов» (1 января 1977 г. – 31 декабря 1980 г., заказчик: ИФМ УНЦ АН СССР). Руководители Ломаев Г.В., Леньков С.В.

10. П-15-77 Исследование температурной нестабильности магнитных свойств пермаллоевых сплавов и возможности прогнозирования на стадии запуска материала в производство. Разработка методики прогнозирования. (1 января 1977 г. – 31 декабря 1977 г., заказчик: Мотозавод, г. Ижевск), Руководитель Ломаев Г.В.

11. П-7-78 Разработка базового прибора на основе эффекта Баркгаузена для структуроскопии в потоке с использованием управляющей вычислительной машины» (1978–1980, заказчик: НИИ Интроскопии Минприборпрома, г. Москва). Руководитель Ломаев Г.В., Исупов А.Н.

12. П-6-78 Разработка структуроскопа на основе эффекта Баркгаузена типа БС для контроля поверхностных слоев ферромагнетиков. (1 июня 1978 г. – 31 марта 1981 г., заказчик: ВИАМ, Минавиапром, г. Москва). Руководитель Ломаев Г.В.

13. П-26-76 Разработка, изготовление и внедрение узлов и систем получения, передачи, преобразования телеинформации в распределительных электрических сетях. (1 января 1979 г. – 31 декабря 1980 г., заказчик: Глазовские электрические сети). Руководитель Ломаев Г.В.

14. П-11-80 Разработка прибора неразрушающего контроля (16 ноября 1979 г. – 31 декабря 1980 г., заказчик: ЦНИИН, г. Ленинград). Руководитель Малышев В.С.

15. П-8-80 Разработка, исследование и изготовление измерителей усилий и перемещений для активных оптических систем (1 января 1980 г. – 31 декабря 1980 г., заказчик: ИКИ АН СССР). Руководитель Исупов А.Н.

16. П-11-81 Разработка методик контроля режимов термообработки и механических свойств конструкционных сталей неразрушающим методом магнитных шумов, разработка приборов и комплекта датчиков. (1 января 1981 г. – 31 декабря 1982 г., заказчик: ЦНИИН, г. Ленинград). Руководитель Ломаев Г.В.

17. П-6-81 Исследование акустического способа регистрации эффекта Баркгаузена, разработка и создание на его основе приборов неразрушающего контроля. (14 мая 1981 г. – 31 декабря 1981 г., заказчик: ВИАМ, Минавиапром, г. Москва). Руководитель Барсуков В. К.

18. П-17-84 Структуроскоп магнитный ГСП МС-20Б (апрель 1984 г. – апрель 1985 г., заказчик: ВИАМ, г. Москва). Руководитель Барсуков В.К.

19. П-8-85 Создание автоматизированного прибора неразрушающего контроля (1985–1986, заказчик: ВИАМ, г. Москва). Руководитель Барсуков В.К.

20. П-3-86 Создание автоматизированного прибора неразрушающего контроля на эффекте Баркгаузена. (1986–1988, заказчик: ВИАМ, г. Москва). Руководитель Барсуков В.К.

21. П-29-86 Исследование возможности контроля пережога на сталях ЭП678ВД и ДИ52ВД. Разработка прибора неразрушающего контроля. (1986, г. Миасс). Руководитель Барсуков В.К.

22. П-29-88 Создание специализированных преобразователей и устройств для контроля упрочнения поверхностно-пластическим деформированием на деталях сложной конфигурации. Разработка методики контроля. (15 июня 1988 г. – 31 декабря 1988 г., заказчик: ВИАМ, г. Москва). Руководитель Барсуков В.К.

23. П-11-89 Структуроскоп магнитный МС-20Б (15.03.89 – 31.10.89, заказчик: АвтоВАЗ, г. Тольятти). Руководитель Барсуков В.К.

24. П-3-89 Структуроскоп магнитный МС-20Б с комплектом преобразователей и эксплуатационной документацией. (1 мая 1989 г. – 30 июня 1989 г., заказчик: КамАЗ, г. Набережные Челны). Руководитель Барсуков В.К.

25. П-29-89 Структуроскоп магнитный МС-20Б с комплектом преобразователей и эксплуатационной документацией (1 июля 1989 г. – 30 сентября 1989 г., заказчик: п/о Алтайский моторный завод, г. Барнаул). Руководитель Барсуков В.К.

26. П-12-90 Структуроскоп магнитный МС-20Б» (1 апреля 1990 г. – 30 июня 1990 г., заказчик: Кировское электромашиностроительное п/о им. Лепсе). Руководитель Барсуков В.К.

27. ГП-3-78 Исследование влияния различных факторов (методик) на успеваемость студентов по электротехнике (1978–1986). Руководитель Артемьева Е.М.

28. П-5-86 Применение технических средств обучения при проведении лабораторных работ по электротехническим дисциплинам» (1986–1991). Руководитель Артемьева Е.М.

29. ГП-3-88 Создание первичных преобразователей, устройств и средств неразрушающего контроля (1988–1990). Руководитель Барсуков В.К.

30. ГП-2-91 §53 (заказ-наряд 70) «Разработка аппаратурных и программных средств структуроскопии методом эффекта Баркгаузена» (1991). Руководитель Барсуков В.К.

31. П-4-06-Д Реконструкция системы электроснабжения собственных нужд гидроагрегата ОАО «Воткинская ГЭС». Руководитель Барсуков В.К.

32. П-2-06-Д Энергетическое обследование системы электроснабжения ОАО «Чепецкий механический завод». Руководитель Барсуков В.К.

33. П-1-06-Д Разработка релейной защиты подстанции 110/35/10 кВ

34. П-3-06-Д Разработка методов повышения надежности электроснабжения базовой станции сотовой связи. Руководитель Барсуков В.К.

35. П-5-07-Д Реконструкция питающих сетей и системы электроснабжения ОАО «Кезский сырзавод». Руководитель Барсуков В.К.

36. П-26-07-Д Реконструкция трансформаторной подстанции ТП-83 ОАО Ижмебель. Руководитель Барсуков В.К.

37. П-22-07-Д Разработка системы электроснабжения бизнес-центра в Первомайском районе г. Ижевска. Руководитель Барсуков В.К.

38. П-30-07-Д Разработка системы электроснабжения цеха по производству бумаги. Руководитель Барсуков В.К.

39. П-8-07-Д Реконструкция силового электрооборудования и электроосвещения ООО «Ижхиммаш». Руководитель Барсуков В.К.

40. П-23-07-Д Разработка проекта тех. перевооружения ПС 110/35/6-10 кВ г. Сарапул. Руководитель Барсуков В.К.

42. П-15-07-Д Разработка рабочего проекта по техническому перевооружению устройств РЗА ПС 35/10 кВ «Тукля» в Увинском районе Удмуртской Республике. Руководитель Барсуков В.К.

43. П-12-07-Д Разработка системы контроля доступа и системы видеонаблюдения для торгового центра «Солнечный город». Руководитель Барсуков В.К.

44. П-16-07-Д Проектирование электроснабжения районной котельной № 11 по ул. Гагарина г. Красновишерск. Руководитель Барсуков В.К.

45. П-3-07-Д Анализ надежности работы станции управления электроприводом СУС-01. Руководитель Барсуков В.К.

46. П-1-07 Разработка электротехнической части рабочего проекта кабельной трассы линий электроснабжения ОАО «Ижсталь». Руководитель Барсуков В.К.

47. П-11-07-Д Разработка рабочего проекта по реконструкции системы электроснабжения ВУ-3 МУП г. Ижевска «Ижводоканал», в связи с изменением технологии очистки воды. Руководитель Барсуков В.К.

48. П-28-07-Д Техперевооружение подстанции и реконструкция системы электроснабжения ОАО «Ижмашэнерго». Руководитель Барсуков В.К.

49. П-27-07-Д Разработка системы поддержания микроклимата в оранжерейном комплексе. Руководитель Барсуков В.К.

50. П-6-07-Д Реконструкция центрального распределительного пункта 6 кВ ОАО «Янаульский элеватор». Руководитель Барсуков В.К.

51. П-10-07-Д Реконструкция схемы электроснабжения Центрального и шестого микрорайона Центрального района г. Воткинска. Руководитель Барсуков В.К.

52. П-14-07-Д Электроснабжение и электрооборудование узла связи ЗАО «Марк ТВ». Руководитель Барсуков В.К.

53. П-19-07-Д Анализ режимов самозапуска электрооборудования собственных нужд ТЭЦ-1. Руководитель Барсуков В.К.

54. П-32-07-Д Разработка проекта реконструкции закрытого распределительного устройства 10 кВ нефтеперекачивающей станции «Сюмси». Руководитель Барсуков В.К.

55. П-25-07-Д Разработка электротехнической части проекта для строительства и монтажа РУ-6 кВ подстанции 35/6 кВ нефтяного месторождения п. Краснохолмский. Руководитель Барсуков В.К.

56. П-31-07-Д Разработка проекта реконструкции системы электроснабжения строительной базы ООО «Жилстрой». Руководитель Барсуков В.К.

57. П-33-07-Д Создание НПТ по капитальному ремонту комплектной трансформаторной подстанции КТП АВО газа КЦ-2 ГКС-1 Кунгурского ЛПУМГ. Руководитель Барсуков В.К.

58. П-17-07-Д Разработка стенда для исследования релейной защиты силового трансформатора. Руководитель Барсуков В.К.

59. П-4-07-Д Проектирование электроснабжения котельной в п. Первомайский. Руководитель Барсуков В.К.

60. П-29-07-Д Реконструкция распределительных сетей 0,4 кВ ОАО «Камбарский завод газового оборудования». Руководитель Барсуков В.К.

61. П-7-07-Д Разработка автоматизированной системы перехода на резервное питание больничного комплекса. Руководитель Барсуков В.К.

62. П-18-07-Д Разработка вакуумного контактора. Руководитель Барсуков В.К.

63. П-29-07-Д Разработка технической документации на вакуумный контактор с улучшенными характеристиками. Руководитель Барсуков В.К.

64. П-13-07-Д Испытание магнитоэлектрического генератора с постоянными магнитами. Руководитель Барсуков В.К.

65. П-21-07-Д Проектирование магнитоэлектрического генератора на постоянных магнитах. Руководитель Барсуков В.К.

66. П-21-07-Д Разработка асинхронного двигателя во взрывозащищенном исполнении. Руководитель Барсуков В.К.

69. П-34-07-Д Разработка проекта комплексной трансформаторной подстанции для питания станции УФ обеззараживания сточных вод. Руководитель Барсуков В.К.

70. П-35-07-Д Разработка проекта электроснабжения компрессорной станции. Руководитель Барсуков В.К.

71. П-36-07-Д Модернизация привода подачи вертикально-сверлильного станка 2Р135Ф2-1. Руководитель Барсуков В.К.

72. П-24-08-Д Реконструкция системы электрооборудования и электроснабжения столовой санатория «Селычка». Руководитель Барсуков В.К.

73. П-2-08-Д Реконструкция силового электрооборудования цеха точных заготовок ДОАО «Ижевский инструментальный завод». Руководитель Барсуков В.К.

74. П-21-08-Д Реконструкция подстанции 35/10 кВ «Кечёво» Малопургинского района. Руководитель Барсуков В.К.

75. П-35-08-Д Модернизация РП-8 ОАО «Ижавто». Руководитель Барсуков В.К.

76. П-8-08-Д Силовое электрооборудование ООО «ИжДрил-Норд Экс». Руководитель Барсуков В.К.

77. П-1-08-Д Электрооборудование торгово-делового центра «Юбилейный». Руководитель Барсуков В.К.

78. П-3-08-Д Реконструкция ПС-37 6/0,4 кВ ОАО «Ижсталь». Руководитель Барсуков В.К.

79. П-16-08-Д Разработка автоматизированной системы вентиляции свинарников племзавода. Руководитель Барсуков В.К.

80. П-13-08-Д Реконструкция системы электроснабжения с. Калтасы Калтасинского района Башкортостана. Руководитель Барсуков В.К.

81. П-2-08-Д Электроснабжение цеха точных заготовок ДОАО «Ижевский инструментальный завод». Руководитель Барсуков В.К.

82. П-34-08-Д Реконструкция ОРУ10кВ Ижевской ТЭЦ-2. Руководитель Барсуков В.К.

83. П-10-08-Д Электрооборудование правильной машины. Руководитель Барсуков В.К.

84. П-4-08-Д Реконструкция подстанции 35/6 кВ «Соцгород» Центральных электрических сетей. Руководитель Барсуков В.К.

85. П-12-08-Д Электроснабжение Пызепского месторождения нефти. Руководитель Барсуков В.К.

86. П-7-08-Д Внедрение микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики на отходящих линиях 110 кВ Кармановской ГРЭС. Руководитель Барсуков В.К.

87. П-25-08-Д Реконструкция ТП-6 6/0,4 кВ ФГУП «Ижевский механический завод». Руководитель Барсуков В.К.

88. П-32-08-Д Электроснабжение котельной пос. Балахта Красноярского края. Руководитель Барсуков В.К.

89. П-18-08-Д Разработка системы технического учета электроэнергии ФГУП «Ижевский механический завод». Руководитель Барсуков В.К.

90. П-19-08-Д Анализ потерь в системе электроснабжения ФГУП «Ижевский механический завод». Руководитель Барсуков В.К.

91. П-17-08-Д Электрооборудование вспомогательных механизмов печи постоянного тока. Руководитель Барсуков В.К.

92. П-17-08-Д Разработка проекта электрооборудования печи постоянного тока. Руководитель Барсуков В.К.

93. П-14-08-Д Разработка системы технического учета электроэнергии ИЭМЗ «Купол». Руководитель Барсуков В.К.

94. П-08-Д Разработка проекта электроосвещения реконструируемого кафе «Юность». Руководитель Барсуков В.К.

95. П-9-08-Д Реконструкция системы электрооборудования кафе «Юность». Руководитель Барсуков В.К.

96. П-36-08-Д Электроснабжение и электрооборудование ООО «ТаСа». Руководитель Барсуков В.К.

97. П-22-08-Д Реконструкция ОРУ35 кВ ГПП 35/10 кВ ООО «Камбарский машиностроительный завод». Руководитель Барсуков В.К.

98. П-6-08-Д Техническое перевооружение РУ-6 кВ Кармановской ГРЭС филиала ООО «БГК». Руководитель Барсуков В.К.

99. П-38-08-Д Модернизация релейной защиты подстанции 110/35/6 кВ «Парковая» Арланского УЭН. Руководитель Барсуков В.К.

100. П-42-08-Д Реконструкция подстанции «Якеево» 35/10 кВ. Руководитель Барсуков В.К.

101. П-29-08-Д Реконструкция ОРУ-35кВ подстанции 110/35/6кВ «Арлан» Краснокамского района. Руководитель Барсуков В.К.

102. П-41-08-Д Разработка метода определения места замыкания фазы на землю в системах 6-35 кВ

103. П-37-08-Д Разработка блока электронной защиты асинхронного двигателя. Руководитель Барсуков В.К.

104. П-27-08-Д Реконструкция ПС 35/10 кВ «Байкибашево» ОАО «Башкирэнерго». Руководитель Барсуков В.К.

105. П-11-08-Д Разработка системы электроснабжения 6 кВ Чутырского месторождения нефти и газа. Руководитель Барсуков В.К.

106. П-5-8-Д Техническое перевооружение ПС 35/6 кВ «Протока» Северо-Покурского месторождения. Руководитель Барсуков В.К.

107. П-23-08-Д Электрооборудование и электроснабжение производственного корпуса ЗАО «Удмуртия-инжиниринг». Руководитель Барсуков В.К.

108. П-26-08-Д Реконструкция релейной защиты и автоматики ПС «Булгар» 35/6 кВ. Руководитель Барсуков В.К.

109. П-20-08-Д Реконструкция электроснабжения КНС-5 МУП «Ижводоканал». Руководитель Барсуков В.К.

110. П-39-08-Д Реконструкция электроснабжения реагентного хозяйства МУП «Ижводоканал». Руководитель Барсуков В.К.

111. П-29-08-Д Реконструкция РУ 6 кВ подстанции 110/35/6 кВ «Арлан» Краснокамского района. Руководитель Барсуков В.К.

112. П-28-08-Д Реконструкция подстанции 35/6кВ «Кухтино» Каракулинского района. Руководитель Барсуков В.К.

113. П-30-08-Д Реконструкция системы электроснабжения водозабора «Кама-Ижевск» МУП «Ижводоканал». Руководитель Барсуков В.К.

114. П-31-08-Д Электроснабжение цеха №14 ООО «МЛЗ». Руководитель Барсуков В.К.

115. П-37-08-Д Разработка стенда для исследования защит асинхронного двигателя. Руководитель Барсуков В.К.

116. П-15-08-Д Электроснабжение торгового центра г. Набережные Челны. Руководитель Барсуков В.К.

117. П-43-08-Д Реконструкция подстанции «Нагаево» 110/10 кВ. Руководитель Барсуков В.К.

118. П-40-08-Д Реконструкция подстанции 35/10 кВ «Нагорная». Руководитель Барсуков В.К.

119. П-41-08-Д Разработка метода определения замыкания фазы на землю в системах 6-35 кВ на основе выделения высших гармоник. Руководитель Барсуков В.К.

120. П-33-08-Д Модернизация системы управления автоматической линии садки кирпича ОАО «Алтаир». Руководитель Барсуков В.К.

121. П-21-09-Д Электрооборудование оборотной системы водоснабжения ТЭЦ ОАО «Чепецкий механический завод». Руководитель Барсуков В.К.

122. П-16-09-Д Техническое перевооружение электрооборудования ЗАО «ТИМ»

123. П-1-09-Д Микропроцессорная защита ЗРУ 6кВ № 20 ФГУП «ИМЗ». Руководитель Барсуков В.К.

124. П-5-09-Д Разработка схемы развития электрических сетей 35/10 – 6кВ Завьяловского района. Руководитель Барсуков В.К.

125. П-36-09-Д Разработка шкафов управления насосной станцией. Руководитель Барсуков В.К.

126. П-3-09-Д Компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения ОАО «Иж-Авто». Руководитель Барсуков В.К.

127. П-18-9-Д Компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения ФГУП «ИМЗ». Руководитель Барсуков В.К.

128. П-17-09-Д Реконструкция ПС 110/6 кВ «Пирогово». Руководитель Барсуков В.К.

129. П-7-09-Д Разработка вариантов привязки когенерационных установок для Кезского района. Руководитель Барсуков В.К.

130. П-4-09-Д Реконструкция ОРУ 110 кВ ПС «Слудка» НПС «Чернушка». Руководитель Барсуков В.К.

131. П-9-09-Д Автоматизация ЦТП. Руководитель Барсуков В.К.

132. П-5-09-Д Разработка схемы развития электрических сетей 110/10 – 6 кВ Завьяловского района. Руководитель Барсуков В.К.

133. П-11-09-Д Реконструкция подстанции «Сейтяково» 110/35/10 кВ. Руководитель Барсуков В.К.

134. П-26-09-Д Электроснабжение блочно-кустовой насосной станции. Руководитель Барсуков В.К.

135. П-19-09- Электроснабжение локомотивного депо Агрыз Ижевского отделения ГЖД. Руководитель Барсуков В.К.

136. П-25-09-Д Разработка регулируемого электропривода буровой лебедки. Руководитель Барсуков В.К.

137. П-22-09-Д Электроснабжение микрорайона № 6 г. Пыть-Ях Ханты-Мансийского АО. Руководитель Барсуков В.К.

138. П-2-09-Д Электрооборудование и электроснабжение цеха по производству арболитовых плит. Руководитель Барсуков В.К.

139. П-15-09-Д Модернизация электрооборудования механизмов передвижения крана и вспомогательного подъема крана грузоподъемностью 50/12,5 т. Руководитель Барсуков В.К.

140. П-31-09-Д Модернизация главного электропривода и системы управления установки УВФП 30. Руководитель Барсуков В.К.

141. П-38-09-Д Разработка станции управления установки пропитки шпал. Руководитель Барсуков В.К.

142. П-12-09-Д Электрооборудование котельной 16-этажного дома по ул. Нижняя. Руководитель Барсуков В.К.

143. П-6-09-Д Модернизация главного электропривода черновой клети стана 450 сортопрокатного цеха. Руководитель Барсуков В.К.

144. П-29-09-Д Внедрение частотного регулирования на станции оборотной воды ОАО «Свет». Руководитель Барсуков В.К.

145. П-27-09-Д Модернизация главного электропривода и системы управления станком 20АМТ765. Руководитель Барсуков В.К.

146. П-8-09-Д Электрооборудование и электроснабжение РП 6 кВ ОАО «Ижевская птицефабрика». Руководитель Барсуков В.К.

147. П-28-09-Д Электрооборудование и электроснабжение станции технического обслуживания автомобилей г. Нефтекамска. Руководитель Барсуков В.К.

148. П-31-09-Д Модернизация главного электропривода и системы управления станка 12ФРС123

149. П-24-09-Д Электрооборудование и электроснабжение корпуса ООО «Аллора». Руководитель Барсуков В.К.

150. П-13-090Д Разработка системы диспетчерского управления тепловым пунктом. Руководитель Барсуков В.К.

151. П-13-09-Д Частотно-регулируемый электропривод теплового пункта. Руководитель Барсуков В.К.

152. П-39-09-Д Электроснабжение и электрооборудование подстанции 110/10 кВ «Новая». Руководитель Барсуков В.К.

153. П-33-09-Д Электрооборудование и электроснабжение предприятия по ремонту кранового оборудования. Руководитель Барсуков В.К.

154. П-30-09-Д Электроснабжение Хазинской КНС №1. Руководитель Барсуков В.К.

156. П-13-09-Д Автоматизация теплового пункта. Руководитель Барсуков В.К.

157. П-20-09-Д Модернизация электрооборудования мостового крана. Руководитель Барсуков В.К.

158. П-10-09- Реконструкция подстанции «Полевая» 110/35/6кВ. Руководитель Барсуков В.К.

159. П-32-09-Д Модернизация электропривода подачи токарно-винторезного станка 16Б16Т1С1. Руководитель Барсуков В.К.

160. П-34-09-Д Регулирование напряжения на шинах 10кВ ПС «Успенка» 110/10 кВ. Руководитель Барсуков В.К.

161. П-14-09-Д Реконструкция электрических сетей 110/35/10 кВ подстанции «Бураево». Руководитель Барсуков В.К.

162. П-37-09-Д Электроснабжение подстанции 35/6 кВ пос. Белорусский Тюменской области. Руководитель Барсуков В.К.

163. П-40-09-Д Электроснабжение ПС 35/6 кВ «Каюмово». Руководитель Барсуков В.К.

164. П-5-10-Д Электрооборудование и электроснабжение жилого дома № 68 по ул. Ленина г. Нефтекамск. Руководитель Барсуков В.К.

165. П-3-10-Д Техническое перевооружение подстанции 110/35/10 кВ «Татышлы». Руководитель Барсуков В.К.

166. П-9-10-Д Реконструкция подстанции 35/6 кВ «Мишкино-2» НГДУ Воткинск. Руководитель Барсуков В.К.

167. П-11-10-Д Электрооборудование швейного предприятия «ЧП Латыпов». Руководитель Барсуков В.К.

168. П-1-10-Д Электрооборудование и электроснабжение административного здания по ул. Красная, 113 г. Ижевска. Руководитель Барсуков В.К.

169. П-6-10-Д Электрооборудование и электроснабжение дома № 46а по ул. Комсомольская г. Нефтекамска. Руководитель Барсуков В.К.

170. П-8-10-Д Развитие системы электроснабжения микрорайона «Солнечный-2» г. Бирск. Руководитель Барсуков В.К.

171. П-2-10-Д Электрооборудование косметического салона *Beaute-Line*. Руководитель Барсуков В.К.

172. П-4-10-Д Исследование возможности модернизации электропривода передвижения мостового крана. Руководитель Барсуков В.К.

173. П-10-10-Д Техническое перевооружение подстанции 110/6 кВ «Касево». Руководитель Барсуков В.К.

174. П-12-10-Д Реконструкция воздушной линии 10кВ к ЗТП №110 с. Шаркан. Руководитель Барсуков В.К.

175. П-7-10-Д Реконструкция системы электроснабжения ГНС-1 МУП «Ижводоканал». Руководитель Барсуков В.К.

176. П-1-11Д Электрооборудование и электроснабжение производственной базы ООО «СВС» г. Воткинск. Руководитель Барсуков В.К.

177. Проект шифр 1010-218-02-259 «Организация высокотехнологичного производства конденсаторов нового поколения», выполняемого в рамках реализации Постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» по договору № 237 от 28 августа 2010 г. между ОАО «Элеконд» и ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет». Руководитель группы Барсуков В.К.

178. Э-1-14/М Разработка частотного преобразователя для основного привода лифта. ОАО «Элеконд» г. Сарапул. Руководитель Морозов В.А.

179. 65-1-41 Разработка технического предложения по применению электропривода в подводных аппаратах. ОАО «СЭГЗ» г. Сарапул. Руководитель Морозов В.А.

УДК 378.147

Ю. П. Демаков, декан приборостроительного факультета
E-mail: pribor@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
О. В. Косарев, нач. отдела кадров
ОАО «Ижевский радиозавод»

Совместная деятельность предприятия и факультета по повышению качества подготовки инженерных кадров*

Концепция сотрудничества

Сотрудничество должно базироваться на долгосрочных договорах и комплексных проектах, охватывающих образовательную, научную и инновационную сферы, реализуемых в следующих формах [1, 2]:

- проведение совместных научных исследований и разработок;
- создание совместных учебно-научных структур;
- проведение совместных научно-технических мероприятий (семинаров, конференций) по приоритетным научно-техническим направлениям;
- организация практик и дипломного проектирования студентов в организации-партнере;
- целевая подготовка специалистов по заказу организации-партнера;
- участие в формировании учебных планов и рабочих программ подготовки специалистов;
- использование кадрового и научно-технического потенциала организации-партнера в учебном процессе;
- обучение сотрудников организации-партнера в аспирантуре университета;
- переподготовка и повышение квалификации специалистов организации-партнера силами профессорско-преподавательского состава университета.

Направления деятельности кадровой службы ОАО «Ижевский радиозавод» по подготовке и отбору инженерных кадров:

- профориентационная работа с образовательными заведениями УР с целью отбора абитуриентов в рамках выполнения заданий по гособоронзаказу, на П-факультете обучается 30 студентов;
- организация проведения практик студентов на предприятии;
- трудоустройство студентов старших курсов на предприятии;
- адаптация выпускников к производственному процессу;

© Демаков Ю. П., Косарев О. В., 2015

- переподготовка инженеров в соответствии с задачами производства;
- анализ требований служб предприятия к подготовке выпускников (табл. 1).

Таблица 1. **Недостатки в подготовке выпускников**

Причины неудовлетворенности организации	%
Теоретическая подготовка	20
Практическая подготовка	57
Компьютерные навыки	7
Владение иностранными языками	21
Бизнес-знания	8
Управленческие навыки	15
Умение работать в команде	21
Навыки межличностного общения	12
Недостаточный опыт работы	40

Некоторые результаты совместной деятельности ОАО «Ижевский радиозавод» и приборостроительного факультета ИжГТУ имени М. Т. Калашникова по повышению качества подготовки инженерных кадров

1. Улучшение практической подготовки по направлениям обучения приборостроительного факультета

С 2000 года функционирует филиал кафедры «Конструирование радиоаппаратуры» ИжГТУ на базе ОАО «Ижевский радиозавод», основной задачей которой является интеграция науки и производства. В сферу деятельности филиала кафедры включены задачи организации прикладных НИР, совместных исследований в области повышения конкурентоспособности и надежности изделий предприятия.

2. Проведение научно-технических конференций

Ежегодно (с 2001 года) на базе ОАО «Ижевский радиозавод» проводится научно-техническая конференция молодых специалистов с изданием сборника материалов. В ней участвуют молодые инженеры предприятия, студенты приборостроительного факультета и аспиранты вуза. Важные аспекты, рассматриваемые на конференции: актуальность и перспективность работы для предприятия, экономическая эффективность; технический уровень проекта, работы (наличие изобретений, лицензий, ноу-хау), технологичность и простота решения. Более 100 студентов приняли участие в студенческой секции НПК.

На базе приборостроительного факультета с 2001 года ежегодно проводится научно-техническая конференция с международным участием

«Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства» с изданием сборника материалов.

Для студентов, магистрантов и аспирантов проводится конференция «Измерения, контроль, диагностика» с изданием электронного сборника.

Фото. 1. Техническое совещание с главными специалистами ижевских приборостроительных предприятий

3. Назначение персональных стипендий

Развивая сотрудничество с факультетом, ОАО «Ижевский радиозавод» с 2005 года учредил стипендию имени В. А Шутова студентам и выпускникам приборостроительного факультета, достигшим высоких результатов в учебе, научной работе и производственной деятельности предприятия.

Стипендия имени В. А Шутова назначается 2 раза в год и уже 54 студента и магистранта, обучающихся по направлениям подготовки приборостроительного факультета стали лауреатами этой стипендии.

4. Создание студенческого конструкторского бюро

В конце 2013 года организовано студенческое конструкторское бюро космического приборостроения (СКБ КП). С согласия ОАО «Ижевский радиозавод» подразделению присвоено имя Валерия Агафангеловича Шутова. Цель создания данного подразделения заключается в организации непрерывной образовательной программы по обучению студентов современным технологиям проектирования и управления малыми кос-

Фото. 2. Шутов Валерий Агафангелович – генеральный директор ОАО «Ижевский радиозавод» в 1978–1992 гг., почетный гражданин Удмуртской Республики, внес большой вклад в развитие предприятия и приборостроительного факультета

мическими аппаратами (КА) с привлечением ведущих специалистов предприятия. Задачи, решаемые для достижения этой цели, предполагают:

- создание на факультете нового направления исследования в области создания малых КА;
- создание систем и организация эффективного непрерывного управления КА;
- отработка технологии приема, обработки и распространения научных данных, получаемых с помощью навигационной системы ГЛОНАСС/GPS и КА «Микроспутник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова».

5. Помощь в материально-техническом обеспечении

На протяжении долгосрочного сотрудничества факультет располагает поддержкой предприятия и в материально-техническом обеспечении. В сентябре 2011 года ОАО «Ижевский радиозавод» открыл именную аудиторию в ИжГТУ, оборудованную современными средствами проведения учебных занятий со студентами, магистрантами и аспирантами. Оснащаются совместными усилиями лаборатории факультета.

6. Трудоустройство студентов

Знания, полученные в учебных аудиториях, переносятся и на производственные площадки предприятия. Ежегодно более 50 студентов проходят практику в подразделениях предприятия с трудоустройством на рабочие места. В 2001 году приказом генерального директора было утверждено Положение о работе со студентами. Рабочая нагрузка трудоустроенных студентов на предприятии согласуется с графиком учебного процесса. Студенты имеют возможность ознакомиться с организацией производственных процессов, условиями труда и должностными обязанностями, которые им предстоит выполнять после окончания вуза, адаптироваться в коллективе. Немаловажное значение имеет тот факт, что студенты получают заработную плату.

7. Участие ученых факультета в повышении квалификации специалистов предприятия

Большое внимание в рамках работы с персоналом уделяется подготовке и повышению квалификации сотрудников ОАО «Ижевский радио-

завод». В рамках участия в «Президентской программе повышения квалификации инженерных кадров на 2012–2014 гг.» 20 специалистов Ижевского радиозавода прошли курс повышения квалификации на базе ИжГТУ.

Заключительный этапом этого курса стала стажировка 10 человек в КНИТУ-КАИ (г. Казань) и 4 человек – в Технологическом университете (г. Брно, Чехия).

10 специалистов Ижевского радиозавода в течение 2014 года прошли курс повышения квалификации «Построение цифровых средств связи», включающий в себя обучающую программу объемом 72 учебных часа на базе ИжГТУ, российскую стажировку на базе ООО «Гамма плюс» (г. Выборг) и зарубежную стажировку в Технологическом университете (г. Брно, Чехия).

Сотрудничество вуза и предприятия позволяет получить положительные результаты в процессе подготовки и отбора инженерных кадров. Предприятие получает молодых специалистов «под заказ», появляется возможность влиять на содержание программы подготовки, повышать квалификацию и уровень образования своих сотрудников. Студенты осознанно могут сделать выбор будущей профессии и места работы, получить дополнительную подготовку по профилю предприятия. Помимо решения кадровой проблемы сотрудничество предприятия и факультета позволяет получить производственный, социальный, экономический и научно-исследовательский эффект.

Список литературы

1. Опыт стратегического партнерства «вуз – промышленные предприятия» для совершенствования подготовки инженерных кадров / В. М. Кутузов, М. Ю. Шестопалов, Д. В. Пузанков, С. О. Шапошников // Инж. образование. – 2011. – № 8. – С. 4–13.

2. Опыт взаимодействия вуза и промышленного предприятия в области подготовки инженерных кадров / Ю. Л. Шурыгин, Ю. П. Хараев, Э. Б. Мандаров, А. Д. Грешилов, В. А. Быков // Ползуновский альманах. – 2013. – № 2. – С. 142–143.

Секция 1. КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ. КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 629.783, 52-17

В. Н. Белослудцев, *Е. С. Бояринцева*, *В. Н. Широбоков*, студенты
В. А. Глушков, канд. техн. наук, доцент
E-mail: Vladimir.Glushkov@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Моделирование движения спутника по орбите

В связи с бурным развитием информационных технологий и их внедрением во все области науки, включая космонавтику, появляется возможность совершенствования управления космическими аппаратами с помощью математического моделирования [1, 2]. На данном этапе производится постановка задачи такого сложного процесса, как управление спутником, движущимся по плоской геоцентрической орбите. Система движения спутника приведена на рис. 1.

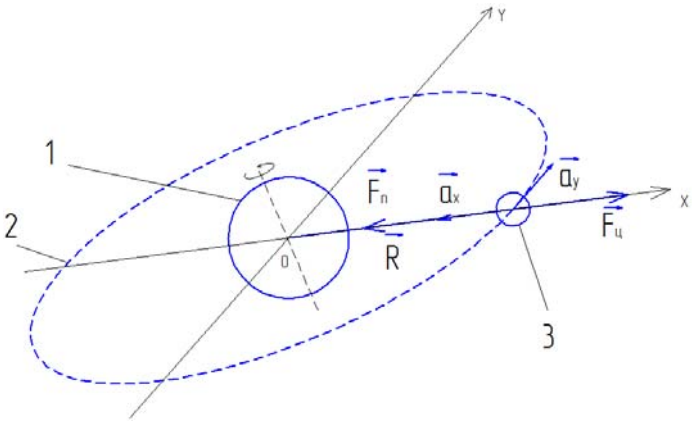


Рис. 1. Система движения спутника по геоцентрической орбите:
1 – Земля; *2* – траектория движения спутника; *3* – спутник; *R* – расстояние от центра Земли до спутника; $F_П$ – сила притяжения Земли; $F_Ц$ – центробежная сила

© Белослудцев В. Н., Бояринцева Е. С., Широбоков В. Н., Глушков В. А., 2015

Поставленная задача будет решена с точки зрения теории управления. Информация о желаемом значении управляемых величин (т. е. задающие воздействия) $X_{ЖЕЛ}$ и $Y_{ЖЕЛ}$ заносится в контроллер. Это устройство формулирует закон управления и подаёт сигнал на исполняющие устройства – систему подачи топлива и механизмы маневрирования. Они, в свою очередь, оказывают прямое воздействие на объект управления – космический аппарат. Информация о его реакции – плоские координаты расположения на орбите X и Y реакции – передаётся на контроллер, который теперь при формулировке управляющего сигнала учитывает эту реакцию и соответствующие ошибки для приближения к желаемому результату.

Выведенный на орбиту комический аппарат будет двигаться по ней, не изменяя своей высоты. Отсюда следует, что его координата $Z = \text{const}$, поэтому её можно не учитывать. На основании этого положим, что положение спутника определяется двумя величинами – координатами X и Y.

Для изменения координат прежде всего нужно подать импульс в определённом направлении. Для этого необходимо знать ускорение, развиваемое реактивным двигателем космического аппарата. Согласно второму закона Ньютона

$$m_1 \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{g m_1 m_2 r}{\left| r^3 \right|} + m_1 a, \tag{1}$$

где r – радиус-вектор КА; m_1 – его масса; g – гравитационная масса; a – ускорение, развиваемое двигателем КА.

Данное выражение говорит о том, что сила, действующая на спутник, равна сумме силы притяжения его к Земле и составляющей силы, вызванной его реактивным движением. Так как нам нужно охарактеризовать ускорение движения КА по орбите, то рассмотрим его составляющие соответственно координатным осям:

$$\begin{cases} \dfrac{d^2 x}{dt^2} = a_x + \dfrac{x}{r^3}, \\ \dfrac{d^2 y}{dt^2} = a_y + \dfrac{y}{r^3}, \end{cases} \tag{2}$$

где $d^2 x / dt^2$ – вторая производная координаты x; представляющая собой результативное ускорение спутника по оси Ox; $d^2 y / dt^2$ – вторая производная координаты, y представляющая собой результирующее ускорение спутника по оси Oy; a_x и a_y – проекции ускорений, развиваемых двигателем КА; r – радиус-вектор КА, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.

В задачах оптимального управления в качестве показателя эффективности процесса управления используется критерий оптимальности – преобразование входных и выходных переменных в некоторое число I. В нашем случае под числом I можно понимать промежуточную величину I, характеризующую количество подаваемого в двигатель топлива.

Задача оптимального управления состоит в том, чтобы выбрать управление с наилучшим значением критерия оптимальности $I \to \min$. Однако только этого условия часто оказывается недостаточно, поэтому необходимо учитывать условия, гарантирующие осуществимость управления. С этой целью и устанавливаются ограничения.

Ограничения на управление обычно связаны с тем, что управляющие воздействия не могут превышать по абсолютной величине некоторых предельных значений. В нашей задаче необходимо установить определённый максимальный объём топлива.

Проинтегрировав дифференциальное уравнение движения спутника по формуле (2), с помощью математического пакета *MatLab* удалось построить график движения космического аппарата по условной единичной геостационарной орбите (рис. 2).

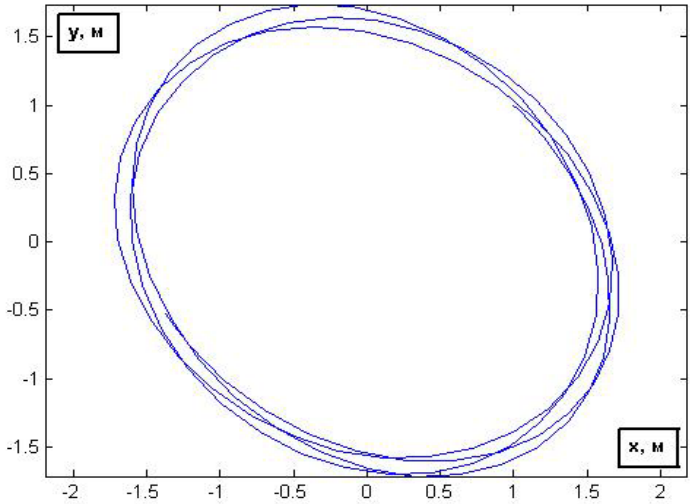


Рис. 2. График движения космического аппарата по геостационарной орбите

Листинг программы

```
clear, clc  % Очистка диалогового окна программы
r = @(a,b,c) sqrt(a.^2+b.^2+c.^2);  % Уравнение радиус вектора
k = 1;  % Гравитационная постоянная

% Система дифф. уравнений движения КА:
D = @(t,x) [x(2);
            -k*x(1)/r(x(1),x(3),x(5));
            x(4);
            -k*x(3)/r(x(1),x(3),x(5));
            x(6);
            -k*x(5)/r(x(1),x(3),x(5))];

u0 = [1,1, 1, -1, 1, 0];  % Начальные условия
tk = [0 30];              % Диапазон времени
[t, u] = ode45(D,tk,u0);  % Численное интегрирование системы ДУ
plot(u(:,1),u(:,3))       % Построение графика движения КА
axis equal
```

На данном этапе нашей работы мы схематично наметили процесс управления космическим аппаратом, обозначили тип входных и выходных данных, определили тип исполнительного механизма системы. Это позволило составить уравнение движения космического аппарата по геостационарной орбите и с помощью него построить график рассматриваемого движения.

Список литературы

1. *Охорзин, В. А.* Теория управления / Охорзин В. А., Сафонова К. В. – СПб. : Лань, 2014. – 224 с.
2. *Прошин, Ю. Н.* MatLab: решение дифференциальных уравнений // Magnetic Resonance in Solids, Electronic Journal (MRSej). – URL: http://mrsej.ksu.ru/pro/pdf_10/ChMMM_6_DEadd_10_MatLab.pdf

УДК 621.396

А. С. Бердников, магистрант
E-mail: berdnikow.ksit@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Разработка частотного диплексера в модуле формирования сигнала ошибки для системы управления антенной

В технике телеметрических антенн производится модернизация устаревших антенных систем, созданных в 60-х и 70-х годах прошлого века. Особенно это относится к модулям формирования сигнала ошибки для систем управления телеметрическими антеннами [1–3]. Рассматриваемая антенная установка представляет систему из четырех больших параболических зеркал, жестко объединенных в единую конструкцию рис. 1.

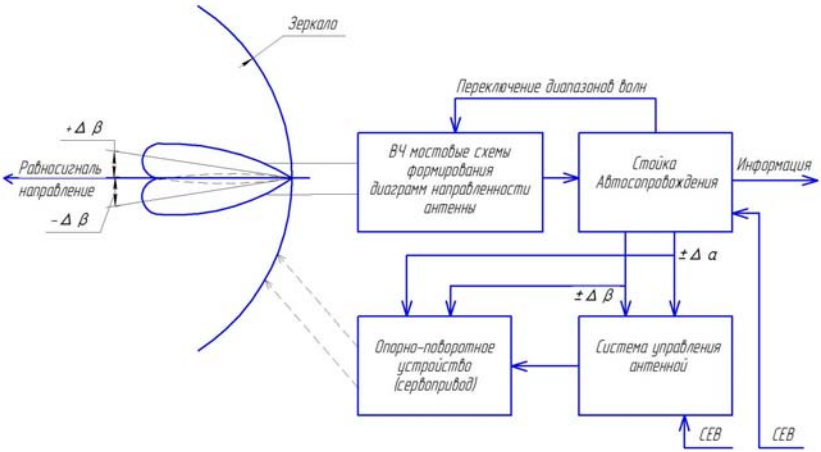


Рис. 1. Следящая антенная система

Диаметр каждого зеркала составляет 6 м. В фокусах зеркал, расположенных на взаимно перпендикулярных направлениях, размещены широкополосные излучатели. Они обеспечивают поляризационно-разнесенный прием сигналов двух взаимно ортогональных поляризаций. Для суммарно-разностной обработки сигналов во всем диапазоне волн применяются высокочастотные гибридные мосты. Они разбиты на два

© Бердников А. С., 2015

поддиапазона – метровый и дециметровый. Гибридные мосты метрового и дециметрового диапазонов волн выполнены по единой схеме. Мостовая схема высокочастотного антенно-фидерного тракта, обеспечивающая формирование моноимпульсных диаграмм направленности таких антенн, показана на рис. 2.

Моноимпульсные диаграммы направленности имеют главный лепесток:

а) в нижнем метровом диапазоне волн – 10°±2;

б) в средней части метрового диапазона волн – 7,5°±1,5;

в) в средней части первого дециметрового диапазона волн – 2,8°±0,5;

г) в средней части второго дециметрового диапазона волн – 1°45´±20´.

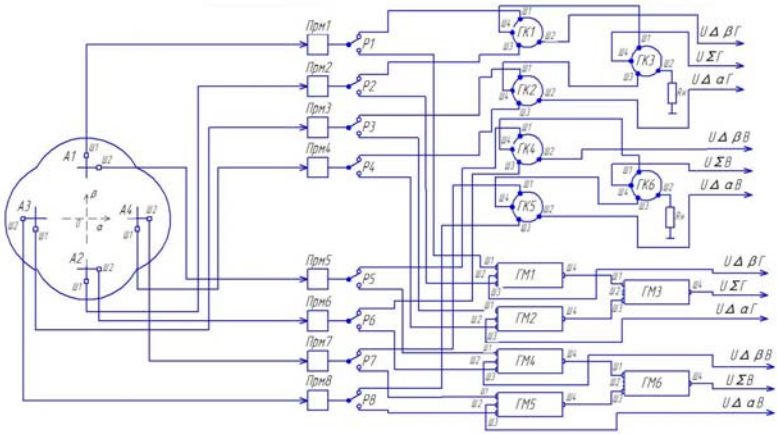
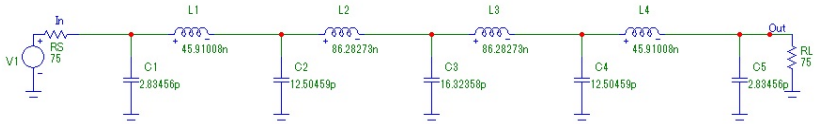


Рис. 2. Блок-схема высокочастотного антенного тракта

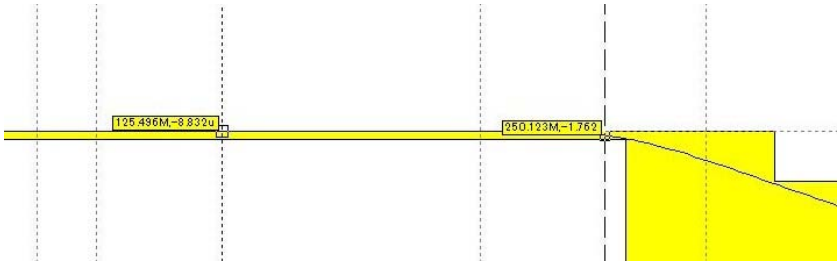
Одной из первых задач в данной схеме является разработка диплексера, позволяющего осуществлять одновременный автономный прием метрового и дециметрового диапазонов волн. Это также впоследствии предполагает разработку малошумящего усилителя.

Для сложения мощности независимых передатчиков в антенне используют малогабаритный диплексер, выполненный на малогабаритных ответвителях и низкодобротных режекторных фильтрах. Диплексер является двунаправленным. В нем заданы следующие частотные полосы пропускания: в М-диапазоне 125–250 МГц; в Д1 диапазоне 625–650 МГц; в Д2 диапазоне 1000–1050 МГц. При этом затухание в полосе пропускания не должно превышать 2 дБ.

При проектировании фильтров диплексера были использованы готовые схемные решения в программном пакете *Micro-Cap*. Для пассивного ФНЧ-фильтра полученная схемная реализация фильтра изображена на рис. 3, *а*, а его амплитудно-частотная характеристика – на рис. 3, *б*.

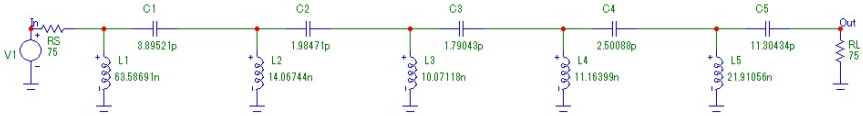


а

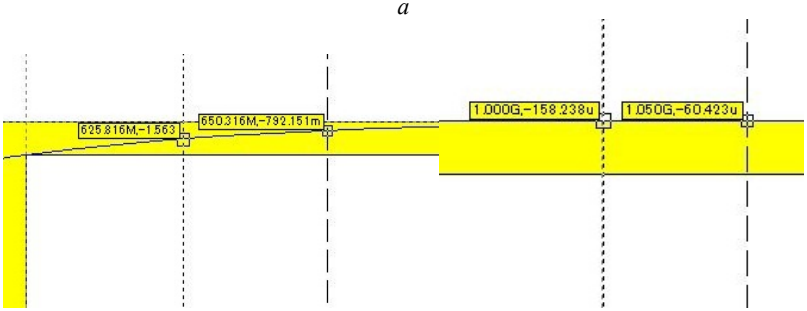


б

Рис. 3. ФНЧ 4-го порядка: *а* – схема; *б* – АЧХ фильтра



а



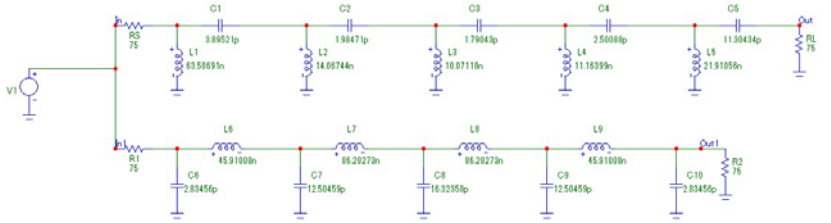
б

Рис. 4. ФВЧ: *а* – схема; *б* – АЧХ фильтра

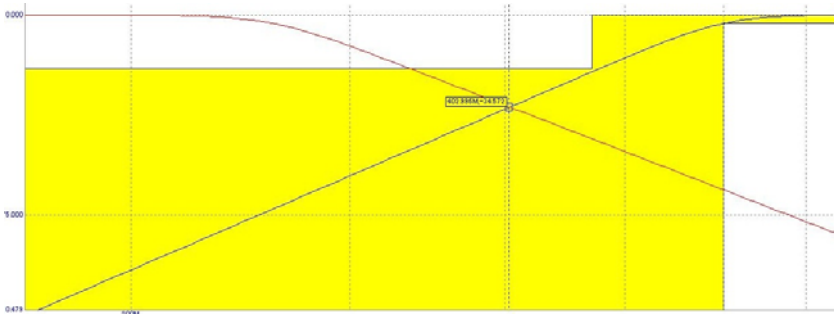
При этом полоса пропускания соответствует П = 125 МГц, потери фильтра в полосе пропускания составили 1,3 дБ.

Аналогично был спроектирован пассивный ФВЧ (также были использованы готовые схемные решения, предложенные в программном пакете *Micro-Cap*). Полученная схемная реализация фильтра изображена на рис. 4, *а*, а его АЧХ – на рис. 4, *б*. Потери фильтра в полосе пропускания составили 1,6 дБ.

Диплексер получается объединением фильтров ФНЧ и ФВЧ (рис. 5, *а*). Его АЧХ изображена на рис. 5, *б*. При этом на частоте 402 МГц затухание составило −34 дБ.



а



б

Рис. 5. Диплексер с функцией разделения ВЧ-сигнала на метровый и дециметровый диапазоны: *а* – схема; *б* – АЧХ

Внедрение данного устройства в антенный тракт позволит обеспечить одновременный прием частот в метровых и дециметровых диапазонах, что ранее не представлялось возможным. Важным моментом являются потери в диплексере; они должны быть минимальными, т. к. принимаемый сигнал может быть слабым и слегка отличатся от шумов. Принятый сигнал содержит информацию о равносигнальном наведении

каждого зеркала на космический объект, впоследствии принятый сигнал проходит обработку, где и выделяются сигналы ошибки.

Список литературы

1. Малогабаритный диплексер для сложения мощности двух независимых передатчиков // QRZ.ru : техн. портал. – URL: http://www.qrz.ru/schemes/ contribute/amplifiers/titov27.shtml

2. *Воскресенский, Д. И.* Устройства СВЧ и антенны. – 2-е изд., перераб. идоп. – М. : Радиотехника, 2006. – 376 с. : ил.

3. *Сазонов, Д. М.* Антенны и устройства СВЧ : учеб. для радиотехн. спец. вузов. – М. : Высш. шк., 1988. – 432 с. : ил.

УДК 681.586

М. А. Бушмелева, *М. И. Фардеев*, студенты
E-mail: darkfox7@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование кардиосигнала по его спектру

Электрокардиограмма (ЭКГ) – это графическое представление разности потенциалов, возникающей во время работы сердца на поверхности тела, регистрируемой аппаратом под названием электрокардиограф в процессе электрокардиографии. На основе полученного графического изображения делаются выводы о работе сердца [1, 2].

Далеко не всегда нарушения в сердечном ритме можно визуально диагностировать, в таких случаях используются автоматизированные методы анализа ЭКГ.

Для работы с сигналом и его изучения требуется провести его обработку, т. е. получить содержащуюся в нем информацию. Полученная информация может быть представлена в виде: частоты, спектра, амплитуды, фазы и относительных временных зависимостей нескольких сигналов.

В данном случае мы рассмотрим спектральный метод, который заключается в разложении электрокардиосигнала на простые гармонические колебания с различной частотой. Используя данный метод анализа кардиосигнала, мы можем по показателям спектра судить об уровне адаптационных возможностей организма.

Для реализации данного метода была использована программа *LabVIEW*, в которой был разработан виртуальный кардиограф. Для анализа

© Бушмелева М. А., Фардеев М. И., 2015

были использованы два различных сигнала: один сигнал здорового человека, другой – с инфарктом миокарда. ЭКГ здорового человека представлена на рис. 1. С помощью разработанного нами виртуального кардиографа был проведен спектральный анализ сигнала ЭКГ, результат которого представлен на рис. 2.

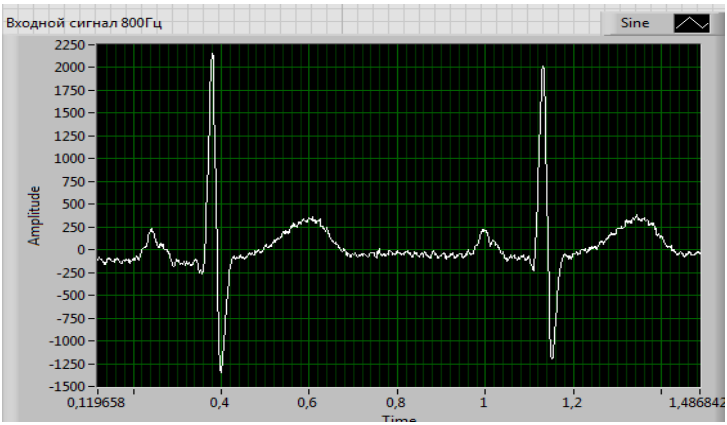


Рис. 1. ЭКГ здорового человека

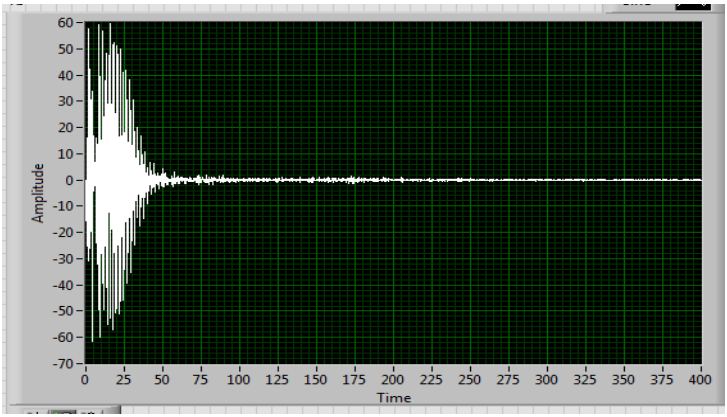


Рис. 2. Спектр ЭКГ здорового человека

Как видно из рис. 2, спектр сигнала плавно спадает на всем протяжении.

Рассмотрим кардиосигнал человека с инфарктом. Сравнение сигналов здорового человека и с инфарктом представлено на рис. 3. Сравнение спектров этих сигналов показано на рис. 4.

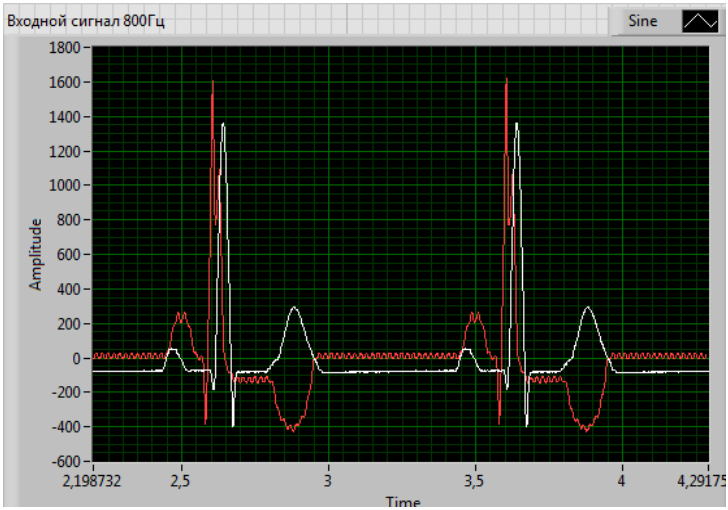


Рис. 3. Сравнение ЭКГ здоровго человека и с инфарктом миокарда

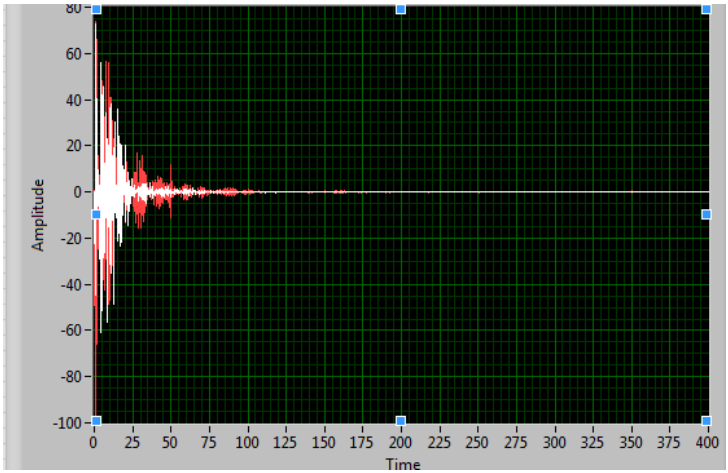


Рис. 4. Сравнение спектров этих сигналов

Видно, что спектр сигнала здорового человека плавно спадает, а спектр сигнала человека с инфарктом резко возрастает на интервале от 25 до 55 Гц.

Из данного графика можно сделать вывод о возможности определения аномалий в кардиосигналах по их спектральной характеристике.

Результатом проделанной работы стало выполнение нескольких задач: получены экспериментальные ЭКС; проведена оцифровка и регистрации ЭКГ; создана программа для построения спектров ЭКС; проанализированы полученные данные; сформирована база ЭКС с полученными спектрами для дальнейшей диагностики.

По результатам проведенной работы были запланированы дальнейшие этапы анализа полученных данных.

Список литературы

1. *Сергиенко, Н. Е.* Сравнительный анализ методов математической обработки кардиосиналов водителя в виртуальном кардиографе / Н. Е. Сергиенко, А. Н. Маренич // Вестник НТУ «ХПИ» : сб. науч. тр. – 2012. – № 19.
2. *Чазов, Е. И.* Руководство по кардиологии : в 4 т. – М. : Медицина, 1982.

УДК 629.783

Н. В. Вахрушев, А. А. Никитина, И. Н. Пьянков, М. Н. Рязанов, студенты
В. А. Глушков, канд. техн. наук, доцент
E-mail: Vladimir.Glushkov@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Принцип работы ГЛОНАСС

Общие сведения

Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС предназначена для определения времени, пространственного местоположения, скорости неограниченного числа потребителей в любой точке земного шара и околоземного пространства.

Основные требования к спутниковой радионавигационной системе ГЛОНАСС является [1]:

- возможность потребителя определить свои координаты в любой точке околоземного пространства;
- определение координат потребителя в любое время суток;
- неограниченное число пользователей;

© Вахрушев Н. В., Никитина А. А., Пьянков И. Н., Рязанов М. Н., Глушков В. А., 2015

• высокая точность определения трёх пространственных координат, трёх составляющих вектора скорости и текущее время.

Проблема, связанная с определением координат в любой точке околоземного пространства, решается за счёт выбора параметров орбит навигационных спутников (НС) и их расположения на орбитах.

Проблема неограниченности числа пользователей была выбрана концепция независимой навигации, предусматривающая выполнение навигационно-временных определений (НВО) непосредственно в аппаратуре потребителя.

Высокая точность определения пространственно-временного местоположения достигается за счет использования сложных радиосигналов излучаемых с НС; излучение сигналов НС с достаточной мощностью; использования высокоточной информации о параметрах движения НС; оптимизации алгоритмов обработки сигналов в аппаратуре потребителей.

Структура СРНС ГЛОНАСС

СРНС ГЛОНАСС состоит из трёх подсистем [2]:

1. Подсистема космических аппаратов, состоящая из спутников на соответствующих орбитах. Подсистема космических аппаратов включает в себя орбитальную группировку из 24 спутников. Непрерывное излучение радионавигационных сигналов со спутников образуют радионавигационное поле в околоземном пространстве, используемое для навигационных вычислений.

2. Подсистема контроля и управления, состоящая из наземных устройств контроля и управления. Она предназначена для контроля правильности функционирования, управления информационным обеспечением орбитальной группировки спутников системы. Подсистема состоит из: центра управления системой ГЛОНАСС; центрального синхронизатора; контрольных станций (КС); системы контроля фаз; квантово-оптических станций (КОС); аппаратуры контроля поля (АКП). В настоящее время работу системы ГЛОНАСС обеспечивают КС, расположенные на всей территории России (рисунок).

3. Подсистема навигационной аппаратуры потребителей. Аппаратура потребителя состоит из радиоприёмника и вычислителя, предназначена для приёма и обработки навигационных сигналов для определения местоположения потребителя.

Принцип работы СРНС ГЛОНАСС

Принцип работы системы состоит в решении навигационной задачи, состоящей из определения пространственных координат потребителя, составляющих вектора его скорости и текущего времени. Результатом решения навигационной задачи является расширенный вектор состояния потребителя П, который в инерциальной геоцентрической системе координат $OX_0Y_0Z_0$ имеет вид

$$\Pi = \left| x, y, z, t, V_X, V_Y, V_Z \right|^{\tau},$$

где x, y, z – координаты потребителя; V_X, V_Y, V_Z – составляющие вектора скорости потребителя; t – текущее время; τ – время задержки. Функциональную связь между навигационными параметрами и компонентами вектора потребителя используют для нахождения вектора состояния П эту зависимость принято называть навигационной функций. Параметры вектора состояния П можно определить с помощью различных методов и их комбинаций. Для получения навигационных функций, включающих составляющие вектора скорости потребителя, используют радиально-скоростные методы.

Наземный сегмент СРНС ГЛОНАСС

Дальномерный метод является наиболее простым. Он основан на пассивных (беззапросных) измерениях растояния R_i между i-м НС и потребителем. В этом методе навигационным параметром является дальность R_i, а поверхностью положения – сфера с радиусом R_i и центром, расположенным в точке, совпадающей с передающей антенной i-го спутника. Координаты x, y, z потребителя определяются как координаты точки пересечения трёх сфер, поэтому для реализации дальномерного метода необходимо измерить дальности R_i до трех НС, т. е. i = 1, 2, 3. Недостатком метода является необходимость очень точной привязки шкал времени НС и потребителя.

Псевдодальномерный метод. Под псевдодальностью от i-го навигационного спутника до потребителя понимают измеренную дальность

$R_{\text{ИЗМ}\,i}$ до этого спутника, отличающуюся от истинной дальности на неизвестную, постоянную величину R_i. При использовании в псевдодальномерных методов, которые основанны на измерениях псевдодальностей, в качестве навигационного параметра выступает $R_{\text{ИЗМ}\,i}$. Измерение псевдодальностей до трех спутников приводит к системе трех уравнений с четырьмя неизвестными $\{x, y, z, R'\}$. В решении этой системы уравнений возникает неопределенный параметр, и для устранения возникшей неопределенности необходимо провести дополнительное измерение, т. е. измерить псевдодальность до четвертого спутника. Полученная таким образом система четырех уравнений имеет точное решение, и, следовательно, местоположение потребителя при измерениях псевдодальностей определяется как точка пересечения четырех поверхностей положения. Из вышесказанного следует, что в зоне видимости должны находиться четыре спутника. Это и определяет требования к орбитальной структуре спутниковой системы, использующей псевдодальномерную навигацию.

Разносто-дальномерный метод основан на измерении разности расстояний от потребителя до одного или нескольких НС. Навигационный параметр – ΔR_{ij}. Разностно-дальномерный метод использует три разности $\Delta R_{ij} = R_{\text{ИЗМ}\,i} - R_{\text{ИЗМ}\,j}$ до четырёх спутников. Поверхности положения определяются из условия ΔR_{ij}, являются постоянными и представляют собой поверхности двуполостного гиперболоида вращения, фокусами которого являются координаты i-го и j-го спутников. Поэтому другое название этого метода – метод гиперболической навигации. Расстояние между i-м и j-м спутниками называют базой измерительной системы. Недостатком метода является невозможность определения смещения шкалы времени потребителя.

Доплеровский метод. Метод основан на измерении трех радиальных скоростей перемещения потребителя относительно трех НС. Метод также называется радиально-скоростным. В основе данного метода лежит зависимость радиальной относительной скорости потребителя от координат и скорости потребителя и НС. Недостатком является необходимость наличия высокостабильного эталона частоты.

Разносто-доплеровский метод. Сущность разностно-доплеровского или разностно-радиально-скоростного метода заключается в определении трех разностей $\Delta D_{ij} = D_{\text{ИЗМ}\,i} - D_{\text{ИЗМ}\,j}$ радиальных скоростей вычисленных относительно одного или относительно нескольких спутников. В данном случае поверхностями положения являются тела вращения, фокусами которого являются координаты центров спутников i-го и j-го НС. Достоинством является нечувствительность к нестабильностям эталонов частоты и другим неконтролируемым смещениям частоты, недостатком является невозможность оценки нестабильности эталонов частоты.

Комбинированные методы. Помимо перечисленных основных методов определения параметров вектора потребителя П возможны комбинированные методы, использующие кроме спутниковых навигационных систем дополнительные измерители координат, имеющиеся у потребителя.

Список литературы

1. ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования / под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. – 3-е изд., перераб. – М. : Радиотехника, 2005.

2. *Поваляев, А. А.* Определение относительных координат по радиосигналам системы ГЛОНАСС / А. А. Поваляев, В. В. Тюбалин, А. А. Хвальков // Радиотехника. – 1996. – № 4.

УДК 629.783

Н. В. Вахрушев, *А. А. Никитина*, *И. Н. Пьянков*, *М. Н. Рязанов*, студенты
В. А. Глушков, канд. техн. наук, доцент
E-mail: Vladimir.Glushkov@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Пример формирования спутника формата *CubeSat*

Стандарт *CubeSat* даёт возможность создавать наноспутники массой 1–4 кг за короткий период времени (1–2 года) при сравнительно низких затратах. Большая часть подобных спутников создаётся в научных и образовательных целях, однако сфера их использования постоянно расширяется. В связи с этим актуально рассмотреть форм-фактор устройства и рассчитать его примерную стоимость.

В последние десятилетие отмечается значительный рост числа запусков космических аппаратов, масса которых не превышает 10 кг, так называемых пико- (до 1 кг) и наноспутников (от 1 до 10 кг) [1]. Обычно такие спутники применяются в образовательных целях и для отработки новых технологий, однако сфера их применения постоянно расширяется. Важнейшую роль в этом направлении играет стандарт *CubeSat*, разработанный в 1999 году Калифорнийским политехническим и Стэнфордским университетами [2], именно в соответствии с этим форматом выполняется большинство подобных спутников. Имеет смысл рассмотреть форм-фактор и примерную сметную стоимость спутника вышеуказанного формата.

CubeSat – формат малых искусственных спутников земли для исследования космического пространства (рис. 1).

© Вахрушев Н. В., Никитина А. А., Пьянков И. Н., Рязанов М. Н., Глушков В. А., 2015

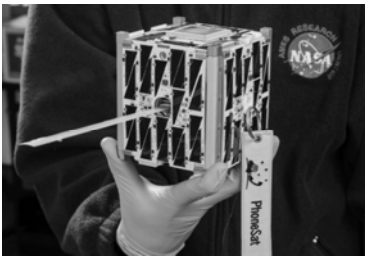


Рис. 1. Спутник *PhoneSat* 2.5

Данный формат имеет модульную структуры, один модуль (1U) имеет объём 1 л и массу не более 1.33 кг. Стандарт разрешает увеличение размера 1U по вертикальной оси в пропорциях: 1,5U; 2U; 3U; 3U+. Линейные размеры и вес модулей указаны в табл. 1. Для запуска *CubeSat* спутников используется стандартный контейнер *Poly-PicoSatelle Orbital Deploer* (*P-POD*), он вмещает в себя три спутника размером 1U, либо меньшее количество спутников общим размером 3U+[2].

Таблица 1. **Масса и габаритные размеры стандартных модулей *CubeSat***

Параметр	1U	1.5U	2U	3U	3U+
X, мм	100	100	100	100	100
Y, мм	100	100	100	100	100
Z, мм	113,5	170,25	227	340,5	340,5+36
Масса, кг	1,33	2	2,66	4	4

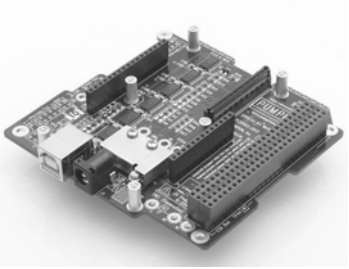


Рис. 2. Одноплатный бортовой компьютер, форм-фактор

Формат *CubeSat* не устанавливает стандарт на форм-фактор печатных плат для бортовой электроники и предоставляет право выбора за разработчиком (рис. 2). Однако если проследить за готовыми решениями бортовой электроники для спутников, то можно увидеть что форм-фактором плат является промышленный стандарт PC/104-*Pluse* [3]. Данный стандарт был разработан в 1997 году и является логическим продолжением стандарта PC/104, разработанного в 1992 году в ответ на требования об уменьшении габаритных размеров и энергопотребления компьютерных систем в промышленности. Стандарт PC/104-*Pluse* устанавливает габаритные размеры плат 90×96 мм, и

формат коммуникаций между платами в виде 120-контактного разъёма *PCI*, расположенного в верхней части платы, также стандартизовано положение монтажных отверстий и рекомендованное межплатное расстояние, равное 15 мм. Четырёхточечное крепление и 120-контактный разъём формируют защищённый от механических вибраций конструктив. Система с такой конструкцией способна работать при высокой вибрации и механических нагрузках [4].

Прежде чем составить компоновку собственного спутника, сделаем обзор компоновок спутников запущенных университетами за последнее время. За последнее время было запущенно 5 университетских спутников: *Chasqui I*, *VELOX I – NSAT*, *TIGRISAT*, *PolyITAN*, *PACE*. Все перечисленные спутники предназначены главным образом для использования их в образовательных целях. Краткие данные по спутникам представлены в табл. 2 ([5–10]).

Таблица 2. ***CubeSat*-спутники, недавно запущенные университетами**

№ п/п	Название спутника	Университет	Состав спутника	Размер
1	Chasqui I	Universidad Nacional de Ingeniería del Perú	Камера, инфракрасная камера, система определения и коррекции пространственного расположения, система связи, система питания, система температурного контроля.	1U
2	VELOX 1-NSAT	Nanyang Technological University, Singapore	Камера высокого разрешения, ик-камера высокого разрешения, система определения и коррекции пространственного расположения, система питания, система температурного контроля, система связи.	3U
3	TIGRISAT	La Sapienza University of Rome	Система определения и коррекции пространственного расположения, система питания, система температурного контроля, S-band передатчик, система связи.	3U
4	PolyITAN-1	Национальный технический университет Украины	GPS\ГЛОНАСС модуль, Система определения и коррекции пространственного расположения, система питания, система температурного контроля, система связи.	1U
5	PACE	National Cheng Kung University	Система определения и коррекции пространственного расположения, система питания, система температурного контроля, система связи.	2U

Из табл. 2 можно выделить системы, общие для всех представленных спутников: система определения и коррекции пространственного расположения, система питания, система температурного контроля, система связи. Этот минимальный набор систем спутника дополним фотокамерой. Кроме того, для связи со спутником нам понадобится наземная станция. Наземная станция включает в себя следующие элементы: приёмопередающую антенну, приёмопередающее устройство (трансивер), модулятор-демодулятор сигнала, а также персональный компьютер для обработки данных [11].

На сегодняшний день существует ряд фирм, предлагающих готовые модули спутникового оборудования формата PC/104 *Pluse*, а также элементы корпусов стандарта *CubeSat* [3], [12]. Запуском спутников занимаются такие компании как *ISIS* [3] и I*nterorbital Systems* [13]. Рассчитаем примерную стоимость спутника, его вывода на орбиту и наземной станции, смету представим в виде табл. 3.

Таблица 3. **Смета на сборку *CubeSat*-спутника**

№ п/п	Название компонента	Наименование	Цена, €
1	Каркас	1U CubeSat Structure	2150
2	Аккумуляторный модуль, совмещенный с модулем управления электропитания	NanoPower P31u	3300
3	Солнечные элементы питания, совмещенные с солнечными датчиками и температуры	NanoPower P110A x2	4000
4	Солнечные элементы питания, совмещенные с солнечными датчиками, датчиками температуры, гироскопом и магнитной катушкой	NanoPower P110UA x2	5400
5.	Солнечные элементы питания, совмещенные с солнечными датчиками, датчиками температуры, гироскопом и магнитной катушкой	NanoPower P110UC x2	2700
6.	Бортовой компьютер с интегрированной системой ориентации в пространстве и смены пространственного положения спутника	NanoMind A712D	4750
7.	*UHF*-трансивер	NanoCom U482C	8000
8.	*UTF*-антенна	NanoCOM ANT430	5500
9.	Модуль раскрывания антенны с обратной связью, интерфейс для цифровой камеры	NanoHab P110	4000
10.	Цифровая камера	NanoCam C1U	11500
	Итого орбитального оборудования:		**51300**

Окончание табл. 3

№ п/п	Название компонента	Наименование	Цена, €
	Наземное оборудование		
11	Антенна	Yagi WX7036	125,20
12	Вращающая система для антенны с контроллером	Yaesu G-5500	842,90
13	Мачта для антенны	PM 4/1,5	60,70
14	Стойка для мачты	Mast Base PH-55	39
15	Модулятор, демодулятор	TNC 1	750
16	Трансивер	TS-2000	1200
	Итого наземного оборудования:		**3017,8**
17	Запуск	CubeSat	10400
	Итоговая стоимость:		**64717,8**

Табл. 3 показывает, что спутник формата *CubeSat* недорогой в сборке и запуске. Такой результат достигается благодаря стандартизации и растущей популярности формата, а также применение промышленной электроники в составе спутников и отсутствие резервирования при проектировании (вследствие малого срока эксплуатации спутника – 1–2 года). Несмотря на некоторые свои недостатки *CubeSat*-спутник отлично подходит для применения в образовательных целях на всех этапах жизненного цикла: разработка, испытания, запуск, эксплуатация.

Список литературы

1. Малые спутники // Википедия : свободная энциклопедия. – URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Малые_спутники/ (дата обращения: 11.11.2014).
2. *Puig-Suari, J.* CubeSat Design Specification Rev / J. Puig-Suari, B. Twiggs. 13. Cal Poly SLO. - 2014 – С. 5.
3. CubeSatShop.com. – URL: http://www.cubesatshop.com/ (дата обращения: 11.11.2014).
4. *Пятницких, А.* PC/104 – стандарт для жёстких условий эксплуатации, СТА-ПРЕСС: СТА. – 2011. – № 1. – С. 22–28.
5. *Swartwout, M. A.* CubeSat Database // Professor Michel Swartwout // Saint Louis University. – URL: https://sites.google.com/a/slu.edu/swartwout/home/cubesat-database (дата обращения: 11.11.2014).
6. *Martínez, J. O.* CHASQUI I – The first Peruvian satellite // Universidad Nacional de Ingeniería del Perú. – URL: http://www.chasqui.uni.edu.pe/eng.html (дата обращения: 11.11.2014).
7. VELOX-I Nano-satellite // Research Projects // Research // Nanyang Technological University. – URL: http://www.sarc.eee.ntu.edu.sg/Research/Projects/Pages/VELOX-I.aspx (дата обращения: 11.11.2014).

8. TIGRISAT Cubesat Satellite. – URL: http://www.tigrisatcubesat.com/ (дата обращения: 11.11.2014).
9. *Пинчук, А.* Как рождался PolyITAN-1 в лабораториях КПИ // Geektimes. – URL: http://geektimes.ru/post/230347/ (дата обращения: 11.11.2014).
10. SPACECRAFT // PACE NANOSATELLITE PROJECT. – URL: http://140.116.215.244:7777/en/spacecraft.htm (дата обращения: 11.11.2014).
11. *Barry, R. M.* Design of a Distributed Ground Support System for Small Satellite // 15th AIAA/USU Conference on Small Satellites.
12. All products // products // GOMSPACE. – URL: http://gomspace.com/index.php?p=products-allsystems (дата обращения: 11.11.2014).
13. Interorbital Systems. – URL: http://www.interorbital.com/interorbital_03302014_003.htm (дата обращения: 11.11.2014).

УДК 629.783, 621.382

В. Г. Гравшин, *Л. О. Долгачева*, *Д. А. Петров*, *И. А. Хайрутдинов*, студенты
В. А. Глушков, канд. техн. наук, доцент
E-mail: Vladimir.Glushkov@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Особенности микроэлектронной техники космического применения

В наше время большое внимание уделяется изучению космоса. А для того чтобы человек мог спокойно изучить его просторы, требуется надежная и высококачественная техника. Компьютерное оборудование не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к электронике космического применения. Зачастую используют микросхемы, не пригодные для использования на орбите Земли, что приводит к падению спутников и космических ракет [1–3].

Разработка микросхем – это процесс довольно длительный и достаточно затратный. В большей мере это относится к микросхемам, предназначенным для военных и космических целей. Ситуация усложняется ещё и тем, что данное производство мелкосерийно, и затраты на разработку и производство не оправдываются.

К космическим и военным микросхемам предъявляются жёсткие условия:

- высокие требования к надежности (как самого кристалла, так и корпуса): устойчивость к перегрузкам, влажности, широкий диапазон температурных перепадов;

© Гравшин В. Г., Долгачева Л. О., Петров Д. А., Хайрутдинов И. А., Глушков В. А., 2015

• стойкость к электромагнитным излучениям, т. е. прибор не должен терять свою работоспособность;

• стабильность параметров после воздействия суммарной дозы облучения и радиации.

В военной, космической аппаратуре применяют металлокерамические корпуса, т. к. пластик не выдерживает испытания по термоциклированию – теряют герметичность и прочность, а также плохо переносит температурные перепады. На рынке изделия из пластика очень часто подделывают, поэтому микросхемы в металлокерамическом корпусе практически не приобрести. Но несмотря на достоинства керамика имеет и недостатки: высокая стоимость и слабая виброустойчивость.

Микросхемы бывают различных категорий. В России они разделены следующим образом:

• микросхемы с приемкой 1 (завод сам производит тестирование микросхем);

• микросхемы с приемкой 5 (приемка заказчика, другими словами, сам представитель организации контролирует тесты);

• микросхемы с приемкой 9 (в этом случае работу производят самые квалифицированные работники – для космоса и ядерных электростанций).

Благодаря тому, что такие микросхемы «упаковываются» в керамические корпуса, проходят различные тесты заказчика и выпускаются в малых количествах, их цена, как минимум, превосходит в 10 раз цену на микросхемы, изготавливаемые для обычных потребителей.

В отечественное космическое или военное оборудование нельзя поставить любую микросхему. Существует определенный список компонентов, где все перечислено поименно. Не разрешается использовать новую микросхему до тех пор, пока она не попадет в этот список.

Также большое влияние на микросхемы оказывают электроны, гамма- и рентгеновское излучения. При прохождении через микросхему гамма- и рентгеновского излучения в подзатворном диэлектрике транзистора постепенно накапливается заряд, что приводит к изменению параметров транзистора – тока утечки и порогового напряжения. Эти излучения заставляют все *p-n*-переходы работать в виде «солнечных батарей», а гамма-излучение даже способно разрывать тяжёлые атомы за счет фотоядерной реакции.

Очень большой проблемой оказалось воздействие ТЗЧ (тяжелые заряженные частицы: протоны, альфа-частицы и ионы больших энергий). ТЗЧ своей большой энергией «пробивают» микросхему. Это может привести либо к программной ошибке, либо к тиристорному защелкиванию, которое, в свою очередь, приведет к сгоранию микросхемы. Из-за защелкивания чипа использование обычных наземных микросхем опасно,

это может привести к поломке оборудования, а в дальнейшем и выходу из строя всего спутника или космического корабля.

С защелкиванием борются несколькими способами:

- контроль уровня потребляемого тока, и быстрое передёргивание питание;
- использование микросхем на сапфировой подложке – отвергает вероятность появления биполярных паразитных транзисторов и соответственно защелкивания;
- использование *TRIPLRE–WELL*-процесса. Данный процесс снижает вероятность защелкивания микросхемы за счет вспомогательной изоляции транзисторов *p*-*n*-переходом.

В космосе радиационную защиту из тяжёлых элементов не используют, потому как при столкновении частицы, обладающей колоссальной энергией, с атомом свинца, она разорвёт его, осколки будут иметь огромную энергию, и аналогично будут разрывать всё на своём пути. Поэтому применяют защиту, состоящую из алюминия и водорода, а т. к. защиты от ТЗЧ нет, и как мы убедились, что чем больше защита, тем выше вторичный урон от высокоэнергетических частиц, то допустимая толщина получается порядка 2–3 мм алюминия. Максимально космическую радиацию можно уменьшить в 10 раз.

Существует огромное количество методов повышения радиационной стойкости корпусным способом:

- Троирование и мажорирование. Для этого строят параллельно несколько одинаковых цепочек микросхем, далее схема сравнения, а результат принимается только тогда, когда все ответы совпадают.
- Помехозащищенные коды с контрольными суммами в конце данных, которые находят ошибку.
- Сложные приемы топологий микросхемы.
- Изменение технологий производства микросхем

Ведущими в разработке и поставке специальных электронных компонентов и изделий микроэлектроники для космической отрасли в России являются отечественные предприятия группы «Ангстрем».

На данный момент российская электронная промышленность может производить и разрабатывать абсолютно любую военную и космическую микроэлектронику, но для этого должны быть заказы, а также человек или организация которая сможет профинансировать производство в течении нескольких лет.

Список литературы

1. Электроника для начинающих. – URL: http://habrahabr.ru/post/156049/ (дата обращения: 09.11.2014).

2. Технологии. – URL: http://yablor.ru/blogs/mikroelektronika-dlya-kosmosa-i-voe/2983587 (дата обращения: 09.11.2014).

3. Микроэлектроника для космоса и военных. – URL: http://www.nanonewsnet.ru/articles/2012/mikroelektronika-dlya-kosmosa-voennykh (дата обращения: 09.11.2014).

УДК 621.3.049.774

Ю. А. Первякова, *О. И. Уразманова*, *Е. В. Симкина*, *А. А. Бабошкина*, студенты
В. А. Глушков, канд. техн. наук, доцент
E-mail: Vladimir.Glushkov@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Анализ радиационных воздействий на электронную технику космического применения

В современной схемотехнике космических РЭА актуальна проблема изоляции полупроводниковых элементов и интегральных устройств от ионизирующего излучения звезд. Солнце и прочие звезды излучают протоны, электроны, а также наиболее опасные для полупроводниковых элементов – ионы. Частицы, имеющие большую энергию, при попадании в рассматриваемые элементы, вызывают в них образование вредоносных электронно-дырочных пар и появление токов утечки между областями, имеющими *n*-проводимость и *p*-проводимость.

Данное явление может неявно выразиться на отдельно взятом дискретном элементе. Однако это может вывести из строя элементы потребителя, другими словами, привести к отказу цепи.

Рассмотрим данное явление на примере схемы транзисторного ключа с нагрузкой виде звукового индикатора (рис. 1).

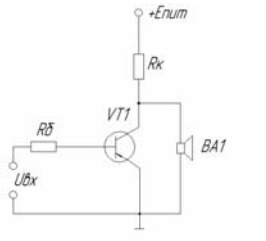


Рис. 1. Схема транзисторного ключа со звуковым индикатором

© Первякова Ю. А., Уразманова О. И., Симкина Е. В., Бабошкина А. А., Глушков В. А., 2015

В данной схеме при отсутствии напряжения на входе транзистор находится в закрытом состоянии, звуковая индикация не наблюдается. Предположим, что в корпус транзистора проникает тяжелая заряженная частица. Проникая через полупроводник, частица тормозится из-за взаимодействия с его кристаллической решеткой и отдает ей часть своей энергии. Попадая в слой базы, частица, обладающая отрицательным зарядом, может привести в движение свободные электроны в данной области. Под действием электрического поля коллектора электроны базы, получившие энергию, могут пройти на выход. Таким образом, транзисторный ключ находится в открытом состоянии, прослеживается звуковая индикация.

Очевидно, что схема даёт отказ. Более опасная ситуация будет проявляться в схемах с усилителями мощности, нагрузка которых не предназначена для больших токов и напряжений, ведь аналогичное явление в таких схемах может вызвать появление излишнего тока на выходе. В полевых транзисторах с изолированным затвором прохождение ТЗЧ через слой изолятора (SiO_2) происходит аналогичное образование электронно-дырочных пар в подзатворном слое (рис. 2). В результате этого происходит сдвиг порогового напряжения транзистора, таким образом, например, *n*-канальный транзистор будет постоянно открыт. Величина накопленного заряда в подзатворном диэлектрике прямо пропорциональна его толщине, т. е. чем больше объём диэлектрика, тем больше дырок может накопиться в этом объёме. Таким образом, в современных МОП транзисторах, в которых толщина подзатворного диэлектрика составляет единицы нм, вероятность появления такого эффекта мала [1, 3].

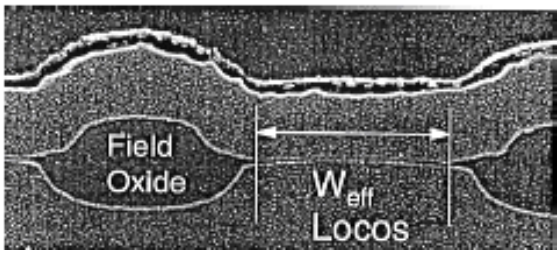


Рис. 2. Разрез МОП структуры с боковой изоляцией:
темным цветом отображены транзисторные кристаллы, светлым – изолятор

Иная картина наблюдается в интегральных микросхемах, где транзисторные кристаллы отделены друг от друга тем же самым диэлектриком.

Ширина боковой изоляции достаточно велика, чтобы обеспечить накопление в ней достаточного количества дырок, позволяющего возник-

нуть току между транзисторными кристаллами. Возникновение такого явления в интегральном устройстве может вывести его из строя, а именно внутренние элементы-потребители. Рассмотрим пример схемы изображенной на рис. 3.

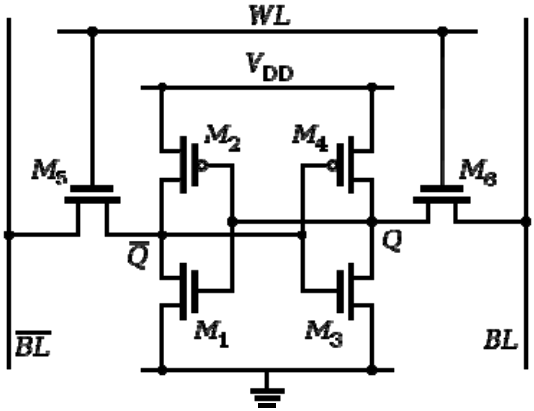


Рис. 3. Схема шеститранзисторного запоминающего элемента

Предположим, что в состоянии покоя будут открыты два транзистора M1 и M4, а два других закрыты (M2 и M3). При попадании ТЗЧ в сток одного из закрытых транзисторов начинается срабатывание положительной обратной связи и рассасывание индуцированного заряда. Если попадание произойдет в транзистор M2, то транзистор M1 будет полностью открыт. При этом в узле Q происходит возрастание потенциала, которое приводит к переключению второго инвертора. Тем самым выходное напряжение инвертора поменяется так, что сопротивление транзистора M1 возрастает, а транзистор M2 приоткрывается. Если этот процесс проходит дольше, чем процесс рассасывания заряда, то происходит радиационно-индуцированный сбой [2].

Помимо однократного сбоя может произойти необратимый отказ элемента, вызванный тиристорным эффектом. Этот эффект возникает из-за открывания биполярных транзисторов, которое происходит в результате попадания ТЗЧ, вследствие этого происходит формирование короткого замывания, ведущее к отказу элемента (рис. 4).

Существуют несколько вариантов борьбы с тиристорным эффектом: минимизировать базовые сопротивления паразитных транзисторов; произвести полную электрическую изоляцию каждого транзистора в схеме; увеличить расстояние между транзисторами [4].

На наш взгляд, наиболее удобным вариантом является минимизация базовых сопротивлений паразитных транзисторов, т. к. уменьшение базовых сопротивлений означает обеспечение хороших контактов к подложке и карману. А менее удачным вариантом является увеличение длины базы транзистора. Это связанно со снижением плотности упаковки кристалла.

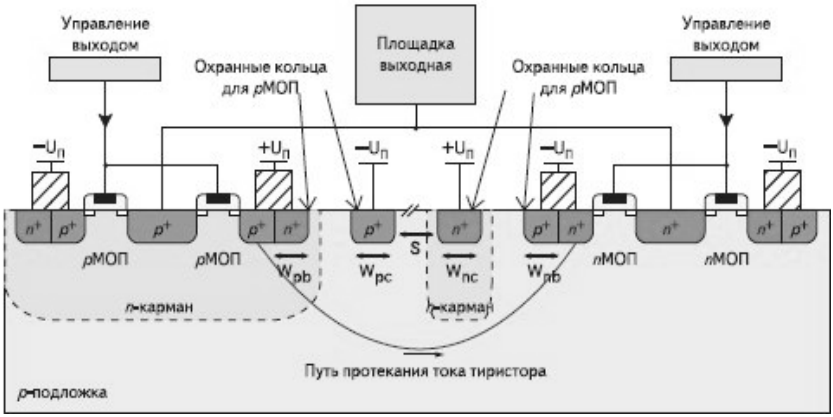


Рис. 4. Иллюстрация тиристорного эффекта

Применяя вышеперечисленные способы, нам удастся обеспечить надежную защиту элементов и полностью избавиться от межтранзисторных утечек.

Список литературы

1. РД 134-0139-2005 Методы оценки стойкости аппаратуры к воздействию заряженных частиц по одиночным сбоям и отказам. – URL: http://ktes.vlsu.ru/fileadmin/templates/file/pub/ustughaninov/13.pdf
2. *Поспелов, Д. А*. Логические методы анализа и синтеза схем. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1974. – 368 с.
3. *Устюжанинов, В. Н.* Радиационные эффекты в биполярных интегральных микросхемах / В. Н. Устюжанинов, А. З. Чепиженко. – М. : Радио и связь, 1986.
4. Физика радиационных эффектов, влияющих на электронику в космосе. – URL: http://habrahabr.ru/post/189066/

УДК 629.78

Е. С. Пушкарев, инженер-конструктор
А. С. Шаура, канд. техн. наук, инженер-программист
ДООО «Ижевский радиозавод»

Расчет поглощенных доз ионизирующих излучений космического пространства

Одной из актуальных проблем при проектировании радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) космических аппаратов (КА) является защита от воздействия ионизирующего излучения космического пространства (ИИКП). Основной характеристикой, позволяющей оценить, насколько изделие соответствует предъявляемым требованиям, является величина накопленной дозы ИИКП за срок активного существования (САС).

Наиболее простым и эффективным методом определения накопленной дозы ИИКП при решении практических задач является метод секторирования на основе модели сферической защиты. В этом случае величина накопленной дозы в некоторой точке определяется выражением

$$D = \frac{1}{4\pi}\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} d\left(l\left(\varphi,\theta\right)\right)\sin\theta d\theta ,$$

где d – доза, проходящая через сферу толщиной $l(\varphi, \theta)$; φ, θ – полярный и азимутальный углы соответственно.

При вычислениях интеграл заменяется конечной суммой:

$$D = \frac{1}{4\pi}\sum_{i=1}^{n} d\left(l\left(\varphi_i,\theta_i\right)\right)\Omega_i ,$$

где φ_i, θ_i – i-е направление; Ω_i – площадь i-й ячейки сферической сетки.

При таком подходе важным является разбиение сферической поверхности на максимально близкие по величине и форме ячейки, что позволяет снизить погрешность расчета вследствие неравномерности сетки. Хорошее разбиение можно получить на основе построения геосферы (геодезического купола) требуемого порядка. Ячейки геосферы представляют собой практически равновеликие и равносторонние треугольники, а порядок геосферы позволяет варьировать мелкостью разбиения. Применение алгоритмов вычислительной геометрии позволяет значительно ускорить процедуру многократного нахождения пересечений элементов КА с лучами, задаваемыми углами φ_i и θ_i.

© Пушкарев Е. С., Шаура А. С., 2015

Простой с точки зрения алгоритмической реализации описанный выше подход в сочетании с возможностями современных САПР, таких как *SolidWorks*, позволил разработать программный комплекс для расчета и анализа защиты РЭА от воздействия ИИКП. Программный комплекс позволяет оценить величину накопленной дозы ИИКП на элементах изделия при различной геометрии и плотности защиты, выделить направления с наиболее сильным радиационным воздействием, визуально представить эффективность защиты и ослабление радиационного воздействия с ростом ее толщины. Разработанный комплекс позволяет заранее выбрать совокупность точек для анализа, указать параметры расчета и осуществлять дальнейшие вычисления на нескольких ЭВМ сразу для всех заданных видов излучения и соответствующих таблиц ослабления радиационного воздействия с увеличением толщины защиты, при этом результаты расчетов будут сохраняться на одном сервере, доступном с любого рабочего места.

Пример визуализации эффективности защиты при наложении фильтра по величине радиационного воздействия представлен на рис. 1, 2.

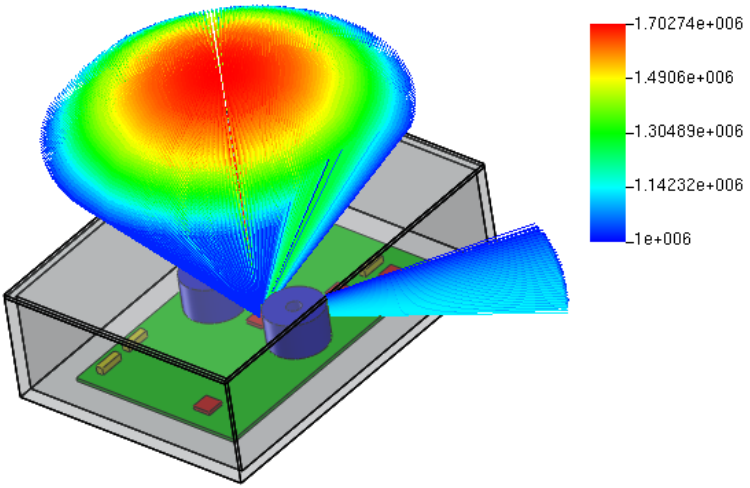


Рис. 1. Наиболее слабые направления с точки зрения защиты от радиационного воздействия

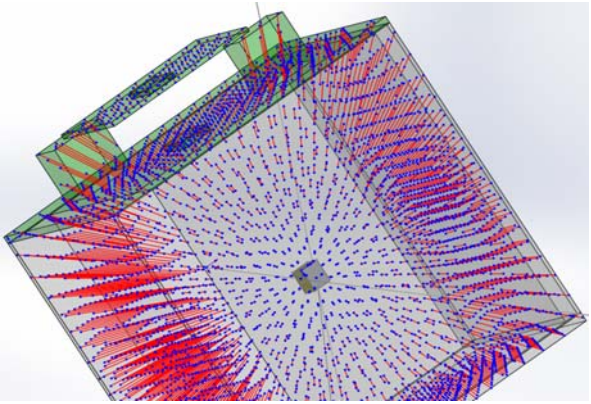


Рис. 2. Визуализация пересечений лучей с элементами конструкции

С использованием разработанного программного комплекса выполнены расчеты накопленной дозы ИИКП в рамках различных российских и международных проектов.

УДК 339.565, 528.7, 528.8

В. П. Тарануха, канд. техн. наук, заведующий кафедрой
«Конструирование радиоэлектронной аппаратуры»[1]
С. А. Петрушин, канд. техн. наук[2]
В. А. Глушков, канд. техн. наук, доцент[1]
E-mail: psatsi@gmail.com
[1]ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»
[2]ООО «Республиканский центр робототехники», г. Ижевск

Концепция спутникового мониторинга реэкспорта товаров на территорию Российской Федерации

7 августа 2014 года правительство РФ опубликовало список продуктов, запрещенных к ввозу в Россию. В него вошли товары из США, стран Евросоюза, Канады, Австралии и Норвегии. Ограничительные меры действуют один год. Контроль за исполнением решения правительства поручен Федеральной таможенной службе [1]. Россельхознадзор 18 августа обнаружил попытки реэкспорта через Белоруссию запрещенных в России европейских овощей и фруктов [2]. Такие факты обладают потенциальной опасностью с

© Тарануха В. П., Петрушин С. А., Глушков В. А., 2015

точки зрения охраны здоровья конечных потребителей товаров (часто не соблюдается корректность санитарного оформления грузов) и экономики РФ [3] (потери России от ассоциации Украины с Евросоюзом составят более 100 млрд руб., а реэкспорт возрастет во много раз).

Таким образом, получение информации о фактах, количестве и траекториях реэкспортных поставок товаров на территорию РФ является экономически важным для государства.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Определение территориальных границ мониторинга.
2. Определение интервалов мониторинга согласно периоду обращения спутника наблюдения.
3. Составление карт расположения товарных баз на наблюдаемых территориях.
4. Составление банка данных форм, размеров, цветов и номеров единиц автомобильного и морского транспорта, используемого для перевозки товаров по наблюдаемым территориям.
5. Разработка алгоритма отслеживания единиц автомобильного и морского транспорта с вычислением вероятности участия в операциях реэкспорта на территорию РФ.
6. Разработка алгоритма отслеживания единиц железнодорожного транспорта с вычислением вероятности участия в операциях реэкспорта на территорию РФ.

В основу концепции положен принцип обработки видеоинформации (фотоснимков) выбранной территории, полученной со спутника (спутников) [4].

Возможно два варианта решения поставленной задачи:

1. С использованием одного спутника, находящегося на низкой орбите. Предполагается использование спутника на орбите порядка 300 км, с периодом обращения около 90 мин. Возможен вариант вывода спутника на геостационарную орбиту.
2. С использованием группы спутников, периоды и фазы обращения которых выстраиваются таким образом, чтобы в их поле зрения были части границ РФ и территорий сопредельных государств, откуда потенциально может проводиться реэкспорт товаров.

В первом варианте осуществляется мониторинг выбранной территории с целью определения местоположения на ней соответствующих большегрузных автотранспортных средств (грузовики, тягачи с полуприцепами, автопоезда) и их перемещение в течение, примерно, 90 мин (период обращения спутника). Предварительно идентифицируются все продуктовые базы и складские помещения (терминалы) на выбранной территории, к примеру, «Европа – Беларусь – РФ».

Большегрузные автотранспортные средства идентифицируются по нескольким характерным признакам: размерам, скорости движения (скорость движения гружёного ниже, чем порожнего) и цвету и вносятся в соответствующий каталог. Решается задача идентификации зрительных образов, аналогичная идентификации номерных знаков, отпечатков пальцев и лиц людей.

При определении начальной точки маршрута движения большегрузов (терминал загрузки в Европе), отслеживается их проезд по маршруту с последующим их нахождением на терминале Республики Беларусь под разгрузкой (определяется временем нахождения в нём транспорта), данный терминал заносится в «черный список» и любое вторичное движение в сторону России с него (даже на другом большегрузном автотранспортном средстве) подвергается особой таможенной проверке.

Метод достаточно точный, поскольку за время обращения спутника большегрузные автотранспортные средства проходят около 80 км и их практический невозможно разгрузить за это время. К тому же конечная точка их маршрута всегда может быть определена с вероятностью около 0,99.

Съёмка в радиочастотном диапазоне позволяет устранить влияние облачности и тёмного времени суток на результаты мониторинга.

Для мониторинга участия железнодорожного транспорта в реэкспорте товаров нужно также отслеживать маршруты движения большегрузных автотранспортных средств при их погрузке в него в странах, которые попали под санкции РФ, и разгрузке в странах участниках Таможенного союза.

Аналогично решается задача мониторинга по другим направлениям, в том числе и мониторинг морских перевозок. Принципиально траектория движения одного спутника может быть выбрана таким образом, что практически полностью покроет территорию РФ и сопредельных государств, с которых возможен реэкспорт товаров.

Во втором варианте, повышается точность мониторинга на кратковременных маршрутах, например, «Польша – Беларусь» при расположении терминалов вблизи границы этих стран, когда время движения между ними меньше периода обращения одного спутника.

Возможен вариант решения этой проблемы путём разработки специального спутника или группа спутников, которые оснащаются специальной аппаратурой видеофотосъемки и программно-аппаратными средствами обработки изображений.

Аппаратура и программное обеспечение спутника/спутников настраиваются таким образом, чтобы распознавать все транспортные средства, которые могут быть использованы для реэкспорта товаров. После распознавания транспортных средств спутник/спутники отслеживают

маршрут и логистику их движения. В этом случае полученная информация поступает в специально созданный наземный центр обработки информации, где проводится анализ траектории и логистика движения транспортного средства, его стыковка с аналогичными средствами на промежуточных пунктах (пунктах возможной перегрузки товаров), вкупе с картами дорог и расположениями пунктов погрузки/разгрузки продукции. На основании этого вычисляется вероятность и делается вывод о «таможенной чистоте» ввозимых на территорию РФ грузов, даже без специального таможенного досмотра. Такой вариант требует значительно больше времени и финансовых затрат на разработку.

Список литературы

1. Путин обвинил Белоруссию в реэкспорте продуктов из ЕС // РБК. – 26.08.2014. – URL: www.rbc.ru/rbcfreenews/20140826172943.shtml
2. Россельхознадзор выявил попытки реэкспорта продуктов из Европы через Белоруссию // РБК. – 18.08.2014. – URL: www.rbc.ru/rbcfreenews/20140818231703.shtml
3. Путин: через Белоруссию идет реэкспорт запрещенных товаров из ЕС // Деловой квартал. – 26.08.2014. – URL: www.dk.ru/news/putin-cherez-belorussiyu-idet-reeksport-zapreshhennyx-tovarov-iz-es-236881756#ixzz3Bm7kAOlA
4. Концепция спутниковой системы мониторинга безопасности движения транспортных средств / С. А. Петрушин [и др.] // Приборостроение в XXI веке – 2013 : материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. 13–15 ноября 2013 г. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014. – С. 53–54.

УДК 681.586

И. Н. Федорова, магистрант
E-mail: girl.alekseeva@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Влияние габаритных параметров на характеристики *RC*-структур

В схемотехнической практике распределенные *RC*-структуры появились 50-х годах как одна из возможных конструктивно-технологических реализаций многозвенных лестничных *RC*-цепей. Эти структуры образованы чередованием резистивной, диэлектрической и проводящей пленок [1–3].

© Федорова И. Н., 2015

RC-структуры с распределенными параметрами представляют собой многополюсные элементы, число полюсов которых зависит от числа резистивных и проводящих слоев и от количества контактов в слое.

Характеристики данного элемента определяются электрофизическими свойствами материалов их слоев, последовательностью чередования слоев, их геометрическими размерами, количеством электрических контактов в слое, характером и расположением статических и динамических неоднородностей.

Сопротивления резистивных слоев, емкость диэлектрического слоя, а также паразитные параметры зависят от габаритных размеров *RC*-структуры. Поэтому изменение хотя бы одного из размеров влияет на частотные характеристики *RC*-ЭРП.

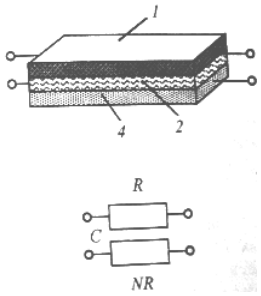


Рис. 1. R-C-NR-структура:
а – конструкция; б – УГО;
1, *4* – резистивный слой;
2 – диэлктрический

Для исследования связи габаритных парметров и частотных характеристик *RC*-структур в качестве идеальной модели была использована *R-C-NR* элемент с распределенными параметрами. Конструкция и УГО изображены на рис. 1.

Сопротивление нижнего и верхнего резистивных слоев связаны по всей поверхности постоянным коэффициентом *N*.

Так как *RC*-ЭРП можно рассматривать как длинную *RC*-линию, то для анализа резистивно-емкостной структуры использована схема замещения в виде лестничной *RC*-схемы.

Схема замещения *R-C-NR* структуры с учетом паразитных параметров , имеет вид, изображенный на рис. 2.

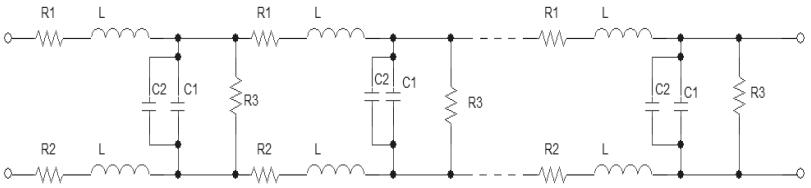


Рис. 2. Уточненная схема *R-C-NR* структуры

Вся разница в схеме замещения по сравнению с идельной *RC*-структурой заключается в том, что появляется индуктивность

резистивных слоев и увеличивается емкость за счет прибавления к ней двух паразитных (краевых) емкостей.

Сопротивление резистивной пленки определяется по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{W}, \tag{1}$$

где ρ – удельное поверхностное сопротивление резистивного слоя; l – длина RC-структуры; W – ширина RC-структуры.

Погонная емкость

$$C = C_{\text{уд}} \cdot l = \varepsilon_0 \frac{w\varepsilon_{ox}}{h} \cdot l = \left(W - \frac{H}{2} \right) \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{ox}}{h} \cdot l, \tag{2}$$

где $C_{\text{уд}}$ – удельная поверхностная емкость; $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – диэлектрическая постоянная; ε_{ox} – диэлектрическая проницаемость.

Паразитная индуктивность резистивного слоя определяется по формуле

$$L = \frac{l \cdot \mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right), \tag{3}$$

где $\mu_0 = 1{,}26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Краевая емкость определяется по формуле

$$C_{\text{кр.общ}} = 2 \cdot \frac{\pi \varepsilon_0 \varepsilon_{ox}}{\log(h / H)} \cdot l \tag{4}$$

Множитель 2 в формуле учитывает две стороны RC-элемента с распределенными параметрами.

Были определены параметры $R1$, $R2$, C при условии, что заданы размеры структуры, удельное поверхностное сопротивление и диэлектрическая проницаемость. Рассчитаны параметры для RC-структуры длиной $l = 3 \cdot 10^{-3}$ м, шириной $W = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ м, высотой резистивных слоев $H = 5 \cdot 10^{-8}$ м и диэлектрического слоя $h = 8 \cdot 10^{-8}$ м соответственно. В качестве материала для напыления резистивных слоев был выбран тантал ТЗЧ и в качестве материала для контактных площадок – тоже тантал. Удельное поверхностное сопротивление такого слоя ρ = 10 Ом.

С учетом всех параметров идеальной и уточненной моделей были получены амплитудно-частотные характеристики (рис. 3).

Сопротивления резистивных слоев, емкость диэлектрического слоя, а также паразитные параметры зависят от габаритных размеров RC-структуры. Поэтому изменение хотя бы одного из размеров влияет на частотные характеристики RC-ЭРП. Была исследована зависимость со-

противлений, емкости и паразитных параметров при различных соотношениях длины и ширины.

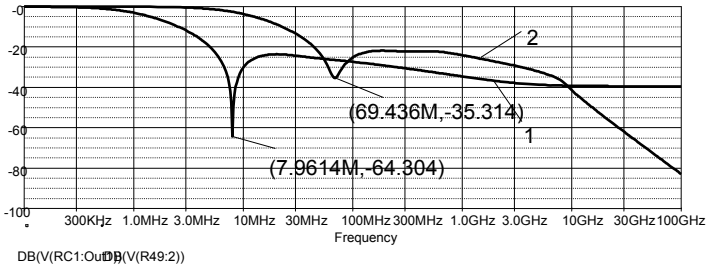


Рис. 3. АЧХ R-C-NR структуры: *1* – АЧХ идеальной *R-C-NR*-структуры; *2* – АЧХ R-C-NR структуры с учетом паразитных параметров

Уменьшили длину структуры: l = 1мм = 10^{-3} м. Ширина *R-C-NR*-структуры, высота резистивных и диэлектрического слоев остаются прежними.

По формулам (1)–(4) были рассчитаны параметры структуры.

АЧХ *R-C-NR*-структуры с учетом и без учета паразитных параметров в этом случае изображена на рис. 4

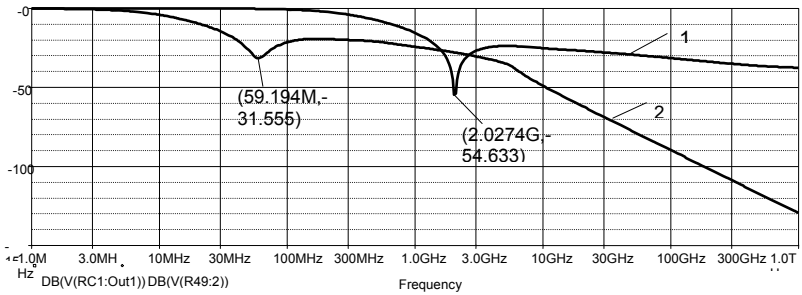


Рис. 4. АЧХ *R-C-NR*-структуры: *1* – АЧХ идеальной *R-C-NR*-структуры; *2* – АЧХ *R-C-NR*-структуры с учетом паразитных параметров

При уменьшении длины глубина режекции как для идеальной модели, так и для модели с учетом паразитных параметров почти не изменилась. Расхождение частот режекции увеличилось.

При соотношении длины и ширины структуры l : W = 2:1 в данном исследовании частота режекции идельной модели *R-C-NR* ЭРП резко

увеличилась и по своему значению превосходила значение частоты режекции модели с учетом паразитных параметров.

Была увеличена длина, которая составила l = 5 мм (рис. 5).

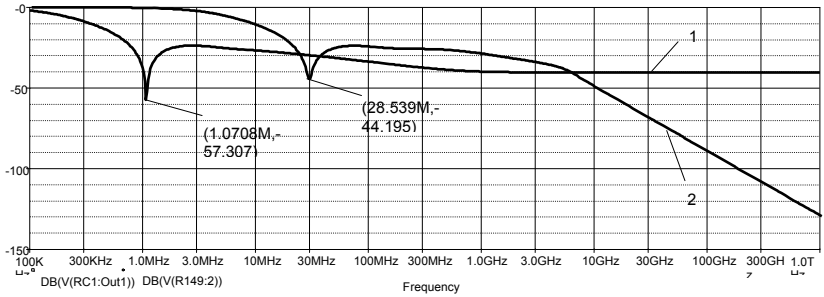


Рис. 5. АЧХ *R-C-NR*-структуры: *1* – АЧХ идеальной *R-C-NR*-структуры; *2* – АЧХ *R-C-NR*-структуры с учетом паразитных параметров

При увеличении длины *R-C-NR*-структуры частота режекции обеих моделей уменьшилась. Расхождение составило 92 %. По графику видно, что глубина режекции идеальной модели почти не изменилась, а для модели с учетом паразитных параметров – увеличилась примерно на 10 %.

Ширина *RC*-структуры была уменьшена в 2 раза (W = 0,25 мм).

Краевая емкость в данном случае не рассчитывается, т. к. не зависит от ширины.

При уменьшении длины структуры частоты режекции уменьшились (рис. 6). Их расхождение в данном случае составляет 20 %. Глубина режекции увеличилась, но незначительно.

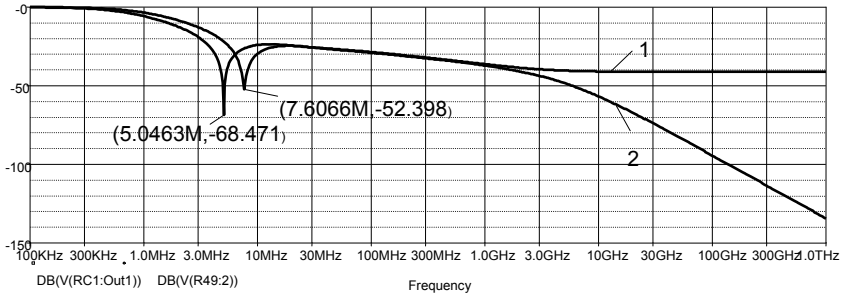


Рис. 6. АЧХ *R-C-NR*-структуры: *1* – АЧХ идеальной *R-C-NR*-структуры; *2* – АЧХ *R-C-NR*-структуры с учетом паразитных параметров

Таким образом, изменение хотя бы одного из габаритных размеров *RC*-структуры влияет на их работу. Значительно изменяются рабочий диапазон частот, частота режекции и в меньшей степени – глубина режекции. При изменении длины увеличивается расхождение частот режекции, а при уменьшении ширины – уменьшается.

Список литературы

1. *Гильмутдинов, А. Х.* Расчет электрических параметров пленочных распределенных RC-элементов : учеб. пособие / А. Х. Гильмутдинов, П. А. Ушаков. – Казань, 1990.
2. *Ушаков, П. А.* Проектирование функциональных устройств микроэлектроники на основе резистивно-емкостных сред : учеб. пособие. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012.
3. *Гильмутдинов, А. Х.* Пленочные резистивно-емкостные элементы с распределенными параметрами: конструкции, применение, перспективы / А. Х. Гильмутдинов, П. А. Ушаков // Датчики системы. – 2003. – № 7.

УДК 681.782.7

В. В. Чумаков, бакалавр, руководитель ООО «Планетарий»
E-mail: udmsky@gmail.com, psatsi@gmail.com
В. П. Тарануха, канд. техн. наук, заведующий кафедрой
«Конструирование радиоэлектронной аппаратуры»
В. А. Глушков, канд. техн. наук, доцент кафедры
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Современные тенденции в области технологии планетариев. Перспективы развития планетария в Ижевске

С момента появления первого аппарата «Планетарий *Carl Zeiss AG*» прошло более 90 лет. На сегодняшний день планетарии в большом количестве представлены во всех развитых и развивающихся странах. Современный планетарий, в первую очередь, – это звездный театр, где зрелищное восприятие сочетается с научным подходом и популяризацией науки. Каждый планетарий – это своего рода маленький центр культуры, и часто его работа не ограничивается только астрономическими вопросами. Во всех странах мира люди интересуются наукой, и, к счастью, в нашей стране в последние годы тоже растет интерес к научным исследованиям. В последнее десятилетие в России стали возрождаться и мо-

© Чумаков В. В., Тарануха В. П., Глушков В. А., 2015

дернизироваться старые и строиться новые планетарии. В 2009 году в Нижнем Новгороде был открыт первый в стране цифровой планетарий. За короткий период при активной поддержке Ассоциации планетариев России (АПР), Астрономического общества (АО) и ГАИШ МГУ были модернизированы планетарии в Калуге, Новокузнецке, Москве, Перми, Уфе, построены новые современные планетарии в Ярославе, Новосибирске, Казани, Иркутске [1, 2].

Открытие планетария в Ижевске состоялось 21 июня 1958 года. Небольшой планетарий (4,2 м) был плохо оснащен, находился в малопригодном здании и работал только в летний период (3–4 месяца в году), вследствие чего уже в 1960 г. он был впервые закрыт на капитальный ремонт. Решение по обеспечению всесезонной работы принято не было, и в итоге купол планетария сдали в металлолом, а сам устаревший аппарат УП-2 списали и передали в школьный музей истории космонавтики, находящийся по сей день в Ижевской СОШ № 62.

Длительное время планетарии использовали только оптико-механические и оптоволоконные проекционные системы. С момента появления в XXI веке современных цифровых проекционных систем, сначала одноканальных на базе сферического зеркала, а затем многоканальных (многопроекторных), ситуация кардинальным образом изменилась благодаря возможности проецировать мультимедийный контент на куполе-экране планетария (рис. 1). Современные планетарии стали мощными инструментом для популяризации естественно-научных знаний, развития образовательной, просветительской деятельности и инновационного творчества в сфере культуры и искусства. Всего сейчас в мире около 2000 планетариев (из них 1100 в США, 400 в Японии, в России около 45).

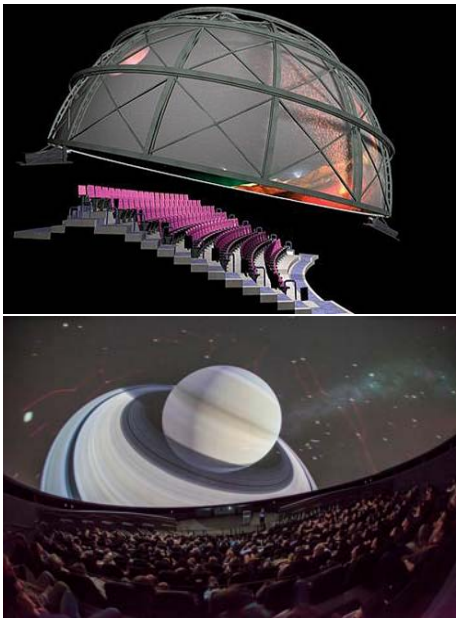


Рис. 1. Цифровой планетарий

В большинстве крупных планетариев используются многопроекторные системы (рис. 2.), которые оснащены

полностью автоматической системой калибровки на базе компьютерного зрения (система распознавания изображения с обучением), включающей пять этапов (задач): сведение по геометрии, создание плавных переходов между проекторами, сведение по яркости (компенсация повышенной яркости на местах пересечения проекторов – *edge blending*), сведение по гамме (цветовая калибровка), компенсация видимости уровня черного фона. Несомненным преимуществом автоматической цифровой калибровки является безупречно четкое изображение на куполе.

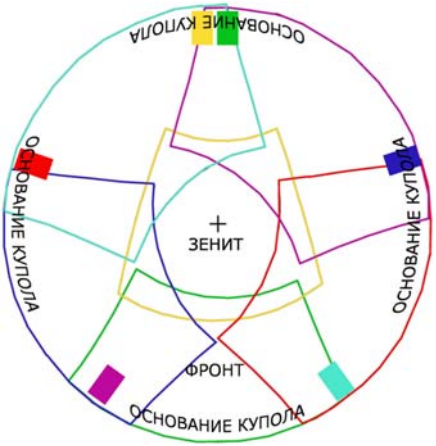


Рис. 2. Схема совмещения изображения на куполе

В многоканальных системах проекторы выбирают из доступных на рынке вариантов с максимально возможной яркостью, контрастом и разрешением. Можно использовать проектор любого класса: от бытового до профессионального. Это уменьшает затраты на покупку оборудования и ламп, упрощает сервис, обслуживание и поддержку. Для больших купольных экранов, как правило, используются *DLP*, *LCD* и лазерные проекторы с высокой яркостью (до 16 000 лм *ANSI*), разрешением, превышающим *FullHD* и контрастом, достигающим 1 000 000 : 1 (*velvet*-технология).

Наиболее современные решения позволяют подключать к одному медиасерверу до 64 проекторов, обеспечивая разрешение 8K. Уровень качества изображения таких систем превосходит все, что ранее создавалось в сфере визуализации (сравните 8K *FullDome* с разрешение *IMAX* 4K *Digital Cinema* на рис. 3). Системы 8K созданы на переднем крае технологии и могут стоить до 10 млн! При наличии одного сервера частота отказов уменьшается, а создание резервной копии данных не требует усилий. Медиасервер работает на ручной сборке *ОС Linux*, а все данные хранятся на быстрых *SSD*-массивах данных. Революционная технология захвата изображения позволяет осуществлять просмотр контента, запускаемого с рабочего компьютера и работать с интерактивными средами на куполе в реальном времени с разрешением до 4K! (что приемлемо для купола с диаметром 25 м). Управление проекционной системой

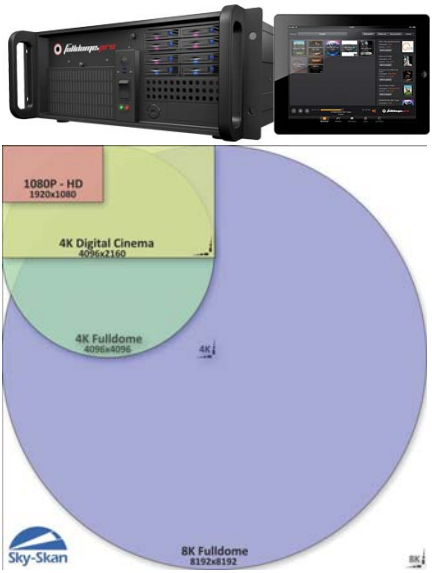


Рис. 3. Разрешение цифровых систем визуализации. 1K–8K *FullDome*

осуществляется по беспроводной сети с помощью планшетного устройства из любой точки зала, что дает новые преимущества лектору.

В настоящее время завершено производство первого в России астросимулятора «Горизонт событий» – визуальной интерактивной среды для цифровых планетариев, дающей уникальный опыт взаимодействия с полнокупольной программой в режиме реального времени. «Горизонт событий» оперирует звездными базами данных *TYCHO* и *HIP* (более 1 млн звезд в 3D-пространстве); экзопланетной базой данных; базой данных объектов NGC2000, включающую туманности и звездные скопления; базой данных пульсаров и звезд «коричневых карликов»; данными по астероидам и Поясу Койпера, включающими более 500 000 объектов; базой данных с более 200 известными кометами; галактической базой данных, располагающей в пространстве более 2 000 000 галактик и квазаров, которые составляют структуру нашей Вселенной, а также всеми искусственными объектами и спутниками с учетом их положения и траекторий в соответствии с базой данных *US NORAD*. Для нашей планеты Горизонт событий™ обеспечивает многослойную инфографику и интеграцию с *Google Maps*™ для близкого рассмотрения каждой части нашего родного мира.

Проводимые во всем мире и с 2013 г. в России ежегодные фестивали полнокупольных программ для планетариев призваны продемонстрировать потенциал планетариев с современным проекционным оборудованием, а также повысить интерес к созданию полнокупольных программ.

Сотрудничество между планетариями, университетами и профессиональными студиями – общепринятая мировая практика. Так, целый ряд программ демонстрируемых в Ижевском планетарии создан путем объединения и интеграции усилий заинтересованных участников:

- «Темная Материя», – студенты университета Западной Австралии (*UWA*);
- «Касаясь края Вселенной», – европейский планетарий совместно с Европейским космическим агентством (*ESA*);
- «Астрономия шаг 1», – *FullDome*-студия Общества сферического кино при поддержке и непосредственном авторстве кафедры астрономии и истории естествознания Нижегородского педагогического университета;
- «*IBEX*. В поисках края Солнечной Системы», – при поддержке *NASSA*;
- «Два стеклышка», – при поддержке Национального научного фонда (*NSF*).

Подобное объединение усилий знакомит студентов с процессом создания компьютерной графики сверхвысокого разрешения, с реализацией задач научной визуализации, разработкой художественного решения, с технологией захвата живого видео для полнокупольных проектов – всеми тонкостями и палитрой возможностей, которые предоставляет новая технология.

Инновационное творчество учащихся на базе *FullDome*-студии, подготовка курсовых и дипломных работ, позволит выявить среди потенциальных кандидатов талантливых программистов, инженеров, дизайнеров – будущих сотрудников высокотехнологичной сферы производства в Ижевске.

В настоящее время Ижевский планетарий располагает ультрасовременным оборудованием уровня городского стационарного планетария, при этом помещение для всесезонной эксплуатации оборудования и развития *FullDome*-студии в Ижевске отсутствует, так же, как и полвека назад. Инициатором возрождения планетария в Ижевске 10.10.2010 г. стал Александр Вениаминович Хлебов, в недавнем прошлом руководитель городской обсерватории. В 2013 году Российская академия наук выдала свидетельство о присвоении малой планете солнечной системы имени А. В. Хлебова. А 23 апреля в рамках VI Международной конференции «Технические университеты: интеграция с европейскими и мировыми системами образования» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова и Ижевский планетарий провели круглый стол «Перспективы развития планетария в Ижевске», на котором выступили председатель Ассоциации планетариев России З. П. Ситкова, исполнительный директор Общества сферического кино (основной производитель оборудования и контента для цифровых планетариев в России) Я. В. Губченко и сирийский архитектор Мажд Гариб. Участники круглого стола смогли ознакомиться с вариантом эскизного проекта здания для будущего планета-

рия – астрономического музея в Ижевске, а также с его перспективной 3D-моделью, подготовленной коллективом Ижевского планетария и продемонстрированной на купольном экране в формате сферического кино.

Начиная с 2010 года, технология полнокупольного проецирования получает все большее распространение в планетариях России, совершенствуется оборудование, программное обеспечение, продолжается процесс объединения усилий профессионалов в области проекционной инженерии, компьютерных технологий, специализированного контента. С 2011 года в России ежегодно проводятся фестивали полнокупольных программ с международным участием с целью обмена опытом по созданию контента, раскрытию потенциала новой индустрии, рассматриваются перспективные смежные аспекты применения новой технологии: сферические кинотеатры, научные музеи, ситуационные диспетчерские центры, конференц-залы, тренажеры военной и гражданской техники, рекламные и выставочные конструкции с прямой и обратной проекцией, моделирование и визуализация научных данных, создание интерактивных визуальных сред для обучения учащихся, полнокупольные игры…

Необходимо отметить, что в настоящее время и в ближайшей перспективе 70 % профиля работы полнокупольных проекционных систем сохраняется за планетариями. При этом значительная часть расходов современных планетариев связана с необходимостью обновления дорогостоящего полнокупольного контента, разработкой и распространением которого во всем мире занимаются специализированные организации (профессиональные *FullDome*-студии), а также сами планетарии в тесном сотрудничестве с техническими институтами, научными музеями при поддержке предприятий космической отрасли (*X-Prise*, *NASA*, *ESA* и др.) Высокая стоимость полнокупольного контента обусловлена трудоемкостью производственных задач, возникающих при работе с графикой сверхвысокого разрешения (до 8K включительно), моделированию данных, необходимостью привлечения специалистов.

С 2013 года в России создана и действует отечественная технологическая инфраструктура, интегрированная в международную среду и обеспечивающая цифровую дистрибуцию полнокупольного контента с защитой авторских прав, а также эффективную схему оплаты лицензионных отчислений. С каждым годом в городах России появляется все больше планетариев с современными проекционными системами отечественно производства. Несмотря на это, крайне низкий уровень внутреннего производства контента, а также высокая стоимость и низкая скорость локализации импортного контента обуславливает острый дефицит качественных полнокупольных программ для цифровых планетариев.

Авторам доклада видится перспективным сотрудничество между Ижевским планетарием и ИжГТУ в части создания при ИжГТУ профессиональной *FullDome*-студии по производству полнокупольного контента для цифровых планетариев и сферических кинотеатров и в части дальнейшего развития технологии (оборудование и ПО), ее применения при решении ряда смежных задач. Подобное сотрудничество будет служить задачам интеграции науки, образования и производства и, кроме того, способствовать профориентации учащихся посредством их привлечения в технические дисциплины космической тематики, а по завершению обучения в ИжГТУ – последующему трудоустройству в высокотехнологичной сфере производства.

Список литературы

1. Рекомендации по проектированию планетариев и массовых астрономических обсерваторий / НИЛЭП ОИСИ. – М. : Стройиздат, 1988. – 104 с.

2. Вестник ассоциации планетариев России и Евро-Азиатского содружества планетариев. – 2012. – № 1(20). – С. 1–5.

УДК 681.7, 778.2

В. В. Чумаков, бакалавр, руководитель ООО «Планетарий»
E-mail: psatsi@gmail.com, udmsky@gmail.com
В. П. Тарануха, канд. техн. наук, заведующий кафедрой
«Конструирование радиоэлектронной аппаратуры»
С. А. Петрушин, канд. техн. наук, директор
ООО «Республиканский центр робототехники»
В. А. Глушков, канд. техн. наук, доцент кафедры
«Конструирование радиоэлектронной аппаратуры»
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Концепция создания изображения без проекционного экрана

Многие современные системы 3D-изображения формируют трехмерную картинку на плоском экране, создавая ощущение трехмерности у зрителя фактически путем оптической иллюзии. Подобные системы в настоящее время используются в качестве рекламных и информационных носителей, а также в сфере медицины. Одним из инновационных

© Чумаков В. В., Тарануха В. П., Петрушин С. А., Глушков В. А., 2015

направлений безэкранных технологий является создание действительно трехмерного объемного изображения при помощи лазерного излучения [1, 2]. Полученное изображение представляет собой набор светящихся точек в пространстве, причем конкретное положение каждой точки можно строго указать.

В докладе рассмотрен общий подход к формированию проекционных изображений без специальных экранов, проанализирован вопрос применения безэкранных технологий проецирования к решению прикладных задач по численному моделированию данных с последующей визуализацией результатов в рамках учебных задач планетариев.

В настоящее время эксперименты по созданию изображений без проекционных экранов осуществляет японский национальный научно-технологический институт (*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*, *AIST*). Устройство, созданное *AIST*, использует свет лазера, фокусируемый с помощью линз в точках пространства над проектором и создающий в этих точках процесс плазменной эмиссии азота и кислорода (рис. 1). Лазер работает в невидимом человеческому глазу диапазоне света, а эмиссия вызывает свечение. Устройство способно воспроизводить трёхмерные фигуры, перемещая точку фокусировки (рис. 2). Частота достигает до 100 вспышек в секунду. Максимальное расстояние проецирования до 3 м. Система может создавать до 50 000 святящихся точек в секунду. Работа над совершенствованием лазера и самой проекционной установки продолжается.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день технология безэкранного проецирования существенно уступает технологии проецирования на экран по всем основным техническим параметрам: разрешение изображения, частота обновления, контрастность, цветопередача, устойчивость картинки. Создать без экрана объемную картинку в пространстве, содержащую от 1 000 000 активных элементов изображения (пикселей) довольно трудоемкая задача в ближайшей перспективе. Поэтому в сфере рекламы технология безэкранного проецирования видится не конкурентоспособной и малоперспективной.

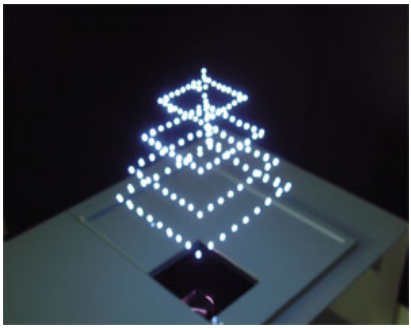


Рис. 1. Лазерный проектор *AIST*

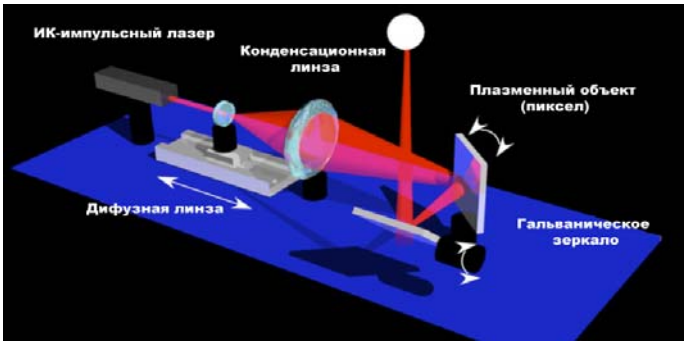


Рис. 2. Вид устройства для получения пространственного 3D-рисунка

С другой стороны, для решения задач, связанных с моделированием и визуализацией научных данных (например, классических задач планетариев), достаточно использовать от 3 000 активных элементов изображения. Необходимо отметить, что стоимость повсеместно используемых в мире современных оптоволоконных проекторов для планетариев фирмы *Carl Zeiss* достигает 100 млн руб. Добавив стоимость цифрового компонента проекционной системы планетария, который пропорционален квадрату радиуса купольного экрана, а также стоимость самого здания и общие эксплуатационные затраты, можно судить об экономческих преимуществах, которые может дать безэкранная проекционная система на основе лазерных технологий.

Более детальный анализ технических и экономических показателей подтверждает, что планетарий является перспективным объектом для практического применения концепции создания изображений без проекционного экрана.

Для практической реализации данной концепции необходимо:

- провести дополнительные исследования по подбору технических параметров элементов лазерной проекционой установки с целью создания опытного образца, позволяющего сформировать точечное изображение управляемого светила в пространстве (одного пиксела) с заданными координатами, яркостью и цветом;
- на основе типовых технических требований к существующим астросимуляторам подготовить техническое задание на разработку программно-аппаратного комплекса (ПАК), содержащего базу данных астрономических объектов и их координат, обеспечивающего с заданной точностью расчет приращений координат, вызванных суточным вращением Земли, ее движением по орбите и собственным движением светил в гелиоцентрической системе координат.

В перспективе лазерная проекция должна, с учетом масштабирования, получать и обрабатывать управляющие команды ПАК, которые позволят ей с заданной скоростью фокусировать лазеры в заданных точках пространства, а также обеспечивать обратную связь во время калибровки проекционной системы как перед началом работы, так и во время эксплуатации. Проекционная система в целом призвана обеспечивать моделирование и демонстрацию в реальном режиме времени (без проекционного экрана) видимого движения звезд северного и южного полушарий, положения планет Солнечной системы, естественных и искусственных спутников, космических аппаратов, объектов глубокого космоса (всего не мене 3 000 объектов, видимых невооруженным глазом).

Список литературы

1. Рекомендации по проектированию планетариев и массовых астрономических обсерваторий / НИЛЭП ОИСИ. – М. : Стройиздат, 1988. – 104 с

2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST : офиц. сайт японского нац. науч.-технолог. ин-та. – URL: http://www.aist.go.jp/index_en.html

УДК 530.1

В. Н. Шихирин, Ph.D*
E-mail: info@elastoneering.com
Президент компании «Elastoneering, Inc.», США, г. Чикаго
Председатель американской секции Русского физического общества, г. Чикаго

Анализ и классификация основных законов Природы с позиций структуризации материи, энергии, информации и времени

Моим учителям, друзьям и соратникам из Ижевского механического института, начиная с 1966 года, Стерхову Виталию Александровичу (1932–2003) и Стерховой Людмиле Алексеевне посвящается.

© Шихирин В. Н., 2015.

* Выпускник приборостроительного факультета 1971 г. (специальная математическая группа).

Какой порыв неукротимый
Из праха Вас подъемлет ввысь?
Какой предел неодолимый
Преодолеть Вы задались?
Растения. А. Чижевский, 1917

«Необходимо знать, что современное Естествознание, особенно его основные разделы – ***физика и химия, а математика вообще выброшена****, – полностью сфальсифицировано элитой человечества по двум причинам: непонимание, что такое Естествознание вообще, и спрятанные знания, связанные со структуризацией материи, энергии, информации и календарного времени их активации, развития, действия и деструктуризации».* Автор

Введение

В настоящее время благодаря получению новых знаний об основных законах Природы – процессах структуризации материи, энергии, информации и календарного времени их действия во Вселенском времени, начался переходный период смены современной «парадигмы» Естествознания на Природную, который происходит и будет проходить в окружении ярого противодействия враждебного окружения, не только русской, но и мировой элиты.

Это естественный процесс **развития цивилизаций отрицательной (паразитической, разрушительной) ориентации – цивилизации.**

Автор **как интеллектуальный биоробот положительной ориентации – биоробот** – и как носитель и генератор новых природных знаний, понимает этот сложный и опасный для его жизни и жизни всех представителей земного социума процесс с позиций законов структуризации в Природе, то есть:

- он всего лишь биоробот или машина;
- для чего Жизнь как жесткая программа – *Soft&HardWare* – дана всем и ему одним из способов размножения в Природе – с помощью/совокупления Папы и Мамы;
- смыслом/целью жизни человека является постоянное и усиленное обдумывание и принятие их, в первую очередь, в интересах Природы!;
- он (человек) должен стремиться выработать все возможности *Soft&HardWare*, заложенные в него Природой, а не прожить примитивной «красивой жизнью» – питанием и совокуплением, как трутень из социума пчел;
- его личные интересы должны совпадать с интересами Природы;
- более того, автор не желает, чтобы его оценивали (если этот процесс планируеся в будущем осуществлять тотально) по системе параметров индексов **библиграфических показателей**: индексов цитирования, Хирша и

импакт-фактора и т. п. Поскольку его работы не относятся к работам порногероев-ученых-академиков и т. п., которые, как правило, насквозь пропитаны ботоксом, виагрой и косметическими натяжками/подтяжками.

К сожалению, никакая косметика не поможет омолодить или увеличить потенциальные возможности некоторых блоков человеческого мозга, например, *мозг, мозжечок, гипофиз, эпифиз* – шишкообразная железа или 3-й глаз и т. п., которые как раз могут увеличить производительность и длительность жизни, правильно распределить функциональные особенности и взимодействия разделов мозга человека, правильно принимать решения, исправить допущенные ошибки, перераспределить мощности элиты, увеличить продолжительность жизнь, включая интеллектуальную, и т. п.;

- кроме билогоческой жизни существуют минимум еще две небиологические жизни, ***известные автору и другим исследователям***, на материи, энергии, информации и календарном времени активации, развития, существования и деструктуризации, *находящихся и не изученных пока на основе других разделов (законов) таблицы химических элементов Дмитрия Менделеева*, таких как:

(1) *По масштабному фактору пространства Вселенной – от наномира и бесконечно меньше и мегамира и бесконечно больше.*

(2) *По плотности заполнения внутренней индивидуальной структуры объекта, субъекта или их элементов по отношению к внешнему окружающему пространству.*

(3) *По не заполненным как минимум 0-му и 1-му рядам несфальфицированной таблицы элементов Дмитрия Менделеева, хотя часть из них раскрыта по его методике.*

(4) *По плотности заполнения структуры внешнего пространства по отношению к объекту, субъекту или их элементам.*

(5) *По температуре и/или давлению независимо от размеров объекта, субъекта или их элементов, включая «холодную» звезду или «горячее» солнце.*

(6) По наличию у планеты или звезды (солнца) вакуумной камеры, а значит атмосферы, и соотношения давлений в вакуумной камере, атмосфере планеты/звезды и окружающего космического пространства.

(7) *По календарному времени структуризации/деструктуризации (активации, развития, существования и дезактивации), например, время структуризации/деструктуризации в мегамире любой действующей VTortex-галактики составляет сотни тысяч лет, а структуризация/деструктуризация подобного VTortex-атома – секунды.*

(8) По физическому параметру «связность» (подробнее в [1]) – все химические элементы и Эфир представляют из себя атомы-торы или

VTortices-Atom с параметром «связностью» h у тора/VTortex, равной, например, по формуле ($h = 2p + 1 = 2 \cdot 1 + 1 = 3$), где количество дырок в торе $p = 1$ и т. п.

1. Причины, приведшие человечество руками его элиты (начальников) к самоуничтожению

«Поистине страшно думать, что право приведения в действие средств войны, хранящихся в арсеналах, созданных высокоинтеллектуальными людьми, ***представляется кругу лиц, чьё высокое положение есть лишь результат ловкости, проявленной в предвыборной борьбе****».* Ф. Кениг

«Парадокс заключается в том, что вместе с гибелью системы – человечества, *уходит в небытие и паразит* – элита, то есть начальник». Автор *и* Виктор Соколов.

«Кто будет владеть технологиями для освоения дальнего космоса, то есть дальше Солнечной системы, хотя бы на два порядка, тот и будет определять будущее человечества, спасение его семени и себя». Автор.

«Русского (без царей и элиты, автор) *мало убить. Его надо ещё повалить».* Фридрих Великий, король Пруссии.

Причина 1. Вектор развития человечества с применения эфирной энергии (ЭЭ) был специально повернут очередной трагической политической «ошибкой» на применение **углеводородной**, а с 1911 года **атомной** (Dr. Marie Curie, 1867–1934, 52^0N /21^0E) **энергии** (УАЭ), поскольку причиной блокировки производства ЭЭ были:

- выход на «проектную мощность» единой системы планетарной власти – Великобритания, США и примкнувшего к ним Ватикана – на основе денег и банковских технологий, в основном придуманных «деньги из ничего» – кредиты – «ссудный процент», и куски идеологии-религии, в которые верили куски человечества, разделенные океанами, горами и пустынями и одновременно были несовместимы для общего развития;
- устоявшиеся углеводородные технологии и военные технологии их защиты от разрушения;
- гибкая система религиозного управления, совершенствование существующих религий, появление новых и замена старых форм или превращение их в силовые структуры для управления незанятого полезным трудом населения планеты и т. п.;
- плавный переход с 1911 года – 1-й Сольвеевский конгресс «Излучение и кванты» – **начало «Лиц*А* физики XX века»**, и неконтролируемого перехода от углеводородной энергетики-оружия к атомной энергетике-оружию (Мария Кюри, Marie Curie – 1867–1934), как начала гибели планеты Земля. Ее работы существенно усилили эфирную работу Дмитрия Менделеева к обоснованию атомных технологий и **создание уст-**

раивающей всех «бизнесменов» пропорции в их капитализации как более прибыльных и неконтролируемых социумом с перспективой на долгие десятилетия. Но об этом Дмитрий Менделеев и сама Мария Кюри не догадывались, как не догадывался Константин Циолковский об ограничениях расстояний, на которые могут долететь ракеты, спасающие «семя человечества»;

- возобновляемые экологически чистые и неустойчивые по климатическим особенностям, а значит ненадежные источники энергии, не превышающие 3 % от общего количества энергии. То есть их можно не учитывать вообще или использовать любителями-дачниками – у кого имеется какое-либо «топливо» – солнышко, ветерок, ручеек, навоз и т. п.

Таким образом, эфирные технологи, которые могли бы заполнить потребление энергии на 100 %, а по природным параметрам являющиеся единственными, сохраняющими планету, были «проигнорированы», получив при этом в 80-х годах XX века – Кольская сверхглубокая скважина», нанесшая смертельную рану твердой оболочке планете, – нарушение герметичности вакуумнй камеры Земли [2, 3].

Краткая история ЭЭ показывает:

- Созданные в **1899–1902** гг. **инженером-электриком Николой Теслой** (Dr. Nikola Tesla, 1856–1943, 44^0N/15^0E, **USA**) станции формирования и передачи на неограниченные расстояния ЭЭ были директивно закрыты с прекращением финансирования [4].
- Ее основа – Мировой структурный Эфир (Ae), в **1903** году [5] ***был открыт в это же время*** **химиком-практиком Дмитрием Менделеевым** (Dr. Dmitriy Mendeleev, 1834–1907, 58^0N/68^0E, **Russia**).

Эфир (Ae) с его физическими характеристиками: ***атомный вес в пределах*** $5{,}3 \cdot 10^{-11}$–$9{,}6 \cdot 10^{-7}$ ***(г/моль), плотность в пределах*** 10^{-34}–10^{-32} (автор), являющийся проводниковой текучей (газовой) средой для разряда/передачи ЭЭ, был быстро и тайно с другими, уже известными элементами, например, коренным инертным газом **Короний** (***Ко, атомный вес 0,4, у Водорода – 1,008***) и «неизвестными» – весь 0-й и 1 ряды, но намечавшимися к открытию новыми элементами, которые после смерти в 1907 году Дмитрия Менделеева были вычеркнуты из периодической системы элементов сыном Николая Меншуткина – Борисом Меншуткиным, по заказу мировой элиты сразу после смерти в 1907 году Дмитрия Менделеева, который сфальсифицировал таблицу элементов, убрав из нее Эфир (Ae) и перекомпоновал структуру таблицы элементов до неузнаваемости из [6] в [7].

Для справки. *В марте 1869 г. на заседании Русского химического общества* ***Николай Меншуткин****, отец негодяя Бориса Меншуткина, доложил от имени Менделеева его Периодический закон – периодическую систему элементов [7].*

Более того, естественные природные ветви от эфирных технологий и интуитивного понимания структуры пространства, открытого автором, успешно внедрялись в те годы в цивилизации, такие как **телепортация, телекинез, телегония, телепатия, теософия, телеология, парапсихоло́гия, магия**, **прогнозирование и предсказание на «крыльях интерполяции и экстраполяции» событий, функциональных характеристик материи, энергии и информации и т. п., были переведены в разряд лженауки и судебному преследованию.**

И только через 96 лет, т. е. в 1999 году, благодаря русскому ученому-патриоту, Председателю Русского Физического Общества (РФО) – http://www.rusphysics.ru/, Владимиру Родионову (Dr. Vladimir Rodionov, 55^0N/37^0W, **Moscow, Russia**), Эфир, как основа эфирной энергетики, «восстал из пепла». А через 110 лет, т. е. в 2014 году, периодическая система Дмитрия Менделеева по группам и рядам была автором (Dr. Valeriy Shikhirin, 42^0N/87^0W, **USA, Chicago**) активирована, **дополнена еще 8-ю функциональными признаками, включая наномир и бесконечно меньше (1/∞), и мегамир и бесконечно больше (∞)**, и используется им для создания эфирных систем различного функционального назначения, в первую очередь, энергетических, транспортных (дальний космос) и систем управления.

До Владимира Родионова бессменным руководителем РФО с 1869–1905 год был Дмитрий Менделеев. В 1930 году РФО (с 1872 года Русское Физико-Химическое Общество) было ликвидировано со всемирно известным журналом ЖРФХО.

В 2014 году автор по своей инициативе и инициативе Владимира Родионова создает в Америке «Американское отделение/секцию/ветвь Русского Физического Общества в Чикаго из **независимых физиков**» (American Branch of the Russian Physical Society at Chicago), как самосостоятельную структуру, и становится его председателем. Понятно, что русская сфальсифицированная система элементов быда неизвестна англоязычным читателям, поэтому эти знания должны быть известны этому читателю хотя бы через 115 лет и названа правильно в честь ее создателя, т. е. Дмитрия Менделеева!

По мнению автора США, Украина и Россия, а вернее, ее социумы, **исключая элиту и государственные структуры**, владеют космическими технологиями на уровне НИОКР и серийного производства эфирных систем с перспективой освоения дальнего космоса в ближайшие 5–10 лет – двойная длина Солнечной системы [8].

Более того, появление в человеческой цивилизации гениев – природных ученых, композиторов и другиех, открывших и развивших **главные знания Природы – технологии структуризации материи (М), энер-**

гии (E), информации (I) и календарного времени их действия ($T_{Calendar}$) во Вселенском времени ($T_{Universe}$) – $MEIT_{Calendar}/T_{Universe}$, показывают, что **определяющим природным фактором появления/рождения гениев является географическое место их рождения.**

Это «обдуваемая» «интеллектуальным ветром» из расположенной в «***газосфере и жидкосфере Солнца»***^{TM} (Sun Gassphere & Liquidsphe)^{TM} космической интеллектуальной базы (КИБ) [1] **часть** шарового пояса/кольца (шаровая трапеция) Земли, расположенного между **30^0с.ш до 60^0с.ш./0^0в.д. до 70^0в.д. Здесь** находится суша, на которой только из **спелого, вызревавшего социума** – минимум через 4–5 тысяч лет назад – появились гении. Эта зона – **30^0с.ш до 60^0с.ш. / 0^0в.д. до 70^0в.д.** – является интеллектуальным центром планеты Земля. На этих широтах и долготах, в **основном примерно** около 80 %, «произростает» русский и украинский социумы, по извечным причинам мигрирующие в США.

В настоящее время по причине отсутствия условий для интеллектуальной работы «одаренные» персоны мигрируют по планете в интуитивном поиске такого места, которым пока является США, хотя на этой территории появление «своих» гениев возможно только после вызревания социума, т. е. минимум через 1 тысячу лет.

При этом деньги для гениев не играют никакого значения, кроме зарабатывания ими любого количества денег, необходимых для проведения своих **природно ориентированных** работ. Как правило, такие «головастики» могут давать выдающиеся результаты только при автономности проведения работ и без участия надсморщиков – элиты/начальников.

Основоположники IT-технологий к гениям не относятся, поскольку эти технологии являются заказами силовых структур, не имеют аналогов в Природе, а только автоматизируют, механизируют, улучшают сервис, который не обязателен к выполнению человеком. Более того, они носят враждебный, антиприродный и опасный для Природы характер. По мнению автора, в течение максимум 5 лет это направление иссякнет, всем надоест и остановится на уровне применения не более 3–5 % использования населением планеты.

Следует помнить, что *структуры всех вращающихся относительно своих осей планет и звезд (больших планет, включая Солнце) и газосферы/атмосферы, и жидкосферы/гидросферы едины и состоят из твердой оболочки-додекаэдра и вакуумной камеры в виде звездчатого икосаэдра – как центра гравитаци, а газосфера и жидкосфера планет и звезд окружают/притягиваются их центром гравитации и структурируются* ***в потоки Куэттэ – Шихирина, как эластичные/мягкие мультиторовые механизмы с мелкомодульным зацеплением***.

При этом газосфера и жидкосфера окружают планеты и звезды:

– со сверхотрицательной температурой на их поверхности – Сатурн, Юпитер и т. п.;

– со сверхгорячей температурой на их поверхности – Солнце, Венера;

– с нормальной температурой на их поверхности, как Земля и Марс, которые взорвутся примерно в XXX и XI–XXII веках, соответственно;

–взорвавшийся Фаэтон примерно в XX веке до н. в. сформировался в пояс астероидов.

Итак, задачами этой научной структуры – «American Branch of the Russian Physical Society at Chicago» – и ее международных конструкторских и технологических ветвей, включая «Некоммерческий фонд ускоренной глобальной космической эмиграции в Чикаго», являются разработка и создание:

- НИОКР и производство на основе структурного Эфира (Ae) реальных, недекларированных и «забытых/забитых» работ;
- природной идеологии по всем направлениям естествознания, включая **«стЫковые»** направления и **математику** – ***арифметика, геометрия и топология***, *которая почему-то, являясь основной, выпала из наук естествознания и превратилась во вспомогательную, а также забылась современными «гениями» пустых теорий, типа Стивена Хокинга и его начальников*;
- технологий структуризации материи (**M**), энергии (**E**), информации (**I**) и календарного времени их действия (**$T_{Calendar}$**) во Вселенском времени **($T_{Universe}$) – $MEIT_{Calendar}/T_{Universe}$** [1];
- эфирных систем, в первую очередь транспорта дальнего космического направления и систем управления **AetherTronics Technologies™**;
- эластичных/мягких мультиторовых механизмов с мелкомодульным зацеплением™ наподобие работы газосферы и жидкосферы планет или потоков Куэттэ – Шихирина [2, 9]. **Очень далеким аналогом этих механизмов являются примитивные зубчатые и ременные передачи, застывшие в своем развитии и исчерпавшие свои потребительские возможности более чем 50 лет назад [10], кстати, безуспешно развиваемые до сих пор в ИжГТУ (?!);**
- технологий получения материалов с вперед заданными свойствами и изготовлением винтовых сферических и тороических узловых замкнутых поверхностей их аморфных расплавов и т. п.;
- **AetherTronics Technologies™ и т. п.**;
- принципов формирования команды, поиска планеты, маршрутизации и эмиграции;
- **систем телепортации, телекинеза, телегонии, телепатии, теософии, парапсихологии, магии** и т. п.

- прогнозирования и предсказания *на «крыльях интерполяции и экстраполяции»* событий, функциональных характеристик материи, энергии и информации;
- космологических систем;
- новых химических элементов 0-го и 1-го рядов согласно несфальцифицированной таблице элементов Дмитрия Менделеева и т. п

«В мире существуют люди, которые, отвергнув все законы Бога и Природы, создали себе свои законы, коим они неукоснительно следуют, как, например, это принято у воров». Блез Паскаль

Итак, из десятков фантазий былы навязаны общая и специальная теория относительности (ОТО и СТО) – пустые теоретические работы Альберта Эйнштейна (*Albert Einstein, 1879–1955*) и К° – и присвоенная им (**Внимание!**) формула **«*$E = mc^2$*, положившая начало уже созревшей и предстоящей в первой половине 21-го века атомной войны и возможной гибели человечества»** [11].

Одним из доказательств этого является многовековая селекционная работа Природы, которая привела во властные научные структуры элиты человечества людей, обладающих наихудшими характеристиками представителей любого социума – интеллектуальных биороботов отрицательной ориентации и т. п.

Ни на Петра Лебедева (Pyotr Lebedev, 1866–1912), Поля Ланжевена (Paul Langevin, 1872–1946), (Николая Умова *(Nikolay Umov, 1846–1915)*, Николая Морозова *(Nikolay Morozov, 1854–1946)*, Хендрика Лоренца *(Hendrik Lorentz, 1853–1928)*, Анри Пуанкаре *(Henri Poincaré, 1854–1912)*, (*Автор*)) *Эйнштейн не сослался, он решил взять всю величайшую ответственность на себя одного. И он ее взял. Когда он «составлял «свою» формулу», то знал, что его власть распространится над умами и душами всех людей»* [11]. Мучительная смерть, по Костантину Циоковскому, всего человечества без оснащения его и его «семени» средствами спасения была для него смысом его жизни.

Причина 2. Использование эксплозийных технологий добычи углеводородов и «атомов» для производства УАЭ, а также использование в военных целях привели к разрушению твердой оболочки планеты и нарушению герметичности вакуумной/гравитационной камеры Земли (звездчатый икосаэдр), в которую на сегодняшний день уже всасалось 15–20 % атмосферы.

Более того, «развитие» УАЭ повлекло за собой разработку и внедрение ключевых/командных деталей трубообразной и сферообразной формы, с точки зрения **максимизации** отдачи или концентрации количества

энергии и/или **«скорости истечения или сжатия *с* продуктов сгорания из/в сопла движителя»**.

Та же труба и сфера используются в перемещениях в атмосфере, гидросфере и ближнем космосе (ближе уже нет); добыче, транспортировке, хранении и захоронении углеводородов и «атомов», соответственно.

Сплошные труБные технологии унификации, типизации и «тупизации»!

Например, жара летом 2010 года в России была спровоцирована из-за зависшей над ней на месяц бескислородной – *отсутствие 40 % озона* O_3 – дыры [12], через которую свободно проходило космическое излучение. В это же время в США на растительный и животный мир также воздействовало космическое излучение, только менее малыми порциями, поскольку территория США находится на широтах 30–50° N, и над этой территорией перемещается с запада на восток, выворачиваясь с севера на юг, практически полная атмосферная ячейка-тор Ферреля. И тем не менее при этом в 2010–2014 гг. погибло большое количество хвойных и лиственных (вязов) пород деревьев, **пчел** и т. п. в обоих полушариях [1]. Пока неизвестно, сколько человек «заболело» смертельными онкологическими заболеваниями различного вида по причине «капиллярного эффекта» [1, 13, 14].

Автор проводил исследования на территории Европы (Россия) – между реками Волгой, Вяткой, Камой (50-60° N, 35–55° N) с базой в г. Ижевске и на территории Северной Америки (США) – между побережьем Атлантического океана и рекой Миссисипи (35–45° N, 70–90° W) с базой в Чикаго.

Странно и страшно, что произошедшая страшная жара в России и ее последствия преподносятся для русского социума российскими старшими офицерами-«учеными» как испытание и применение американского геофизического оружия **HAARP – «Активная высокочастотная программа исследований северного сияния»** [12] (?!). Хотя испытания климатической установки по созданию искусственных торнадо для отбора и преобразования энергии на открытом пространстве в 2009 году над Москвой (Останкино) и многими другими местами, на которые ссылается или «позаимствовал» автор этой работы [12], например, как на применение системы **HAARP** [12], проводил мой друг и соратник из Набережных Челнов (Россия) **Ринат Шаймуратов (Dr. Rinat Shiymuratov) – «шоумен» по «управлению погодой, климатом Земли. Эксперименты» –** http://rinat-shay.chat.ru/pogoda.html.

Эти испытания могут привести к локальному и/или к региональному изменению погоды и даже климата с отрицательными последствиями. Об этом автор говорил с Ринатом неоднократно.

Основным недостатком этих работающих систем по управлению погодой является непонимание управляемой структуры пространства и подгонка теории с соответствующей терминологией под эти процессы, напрмер, *мю-явлений* и т. п.

От такого нетрадиционного неуправляемого воздействия, кроме нарушения связи, тотального срабатывания радиоэлектронной защиты, выхода из строя силовой электроники и т. п., могут нарушиться процессы, происходящие в быстрых физико-химических реакциях атомных станций и медленных в процессах хранения радиоактивных веществ и т. п.

Кроме смерти растительного и животного мира космическое излучение блокирует радиоэлектронный сигнал или формирует устойчивый перемежающийся отказ, а значит частично или полностью блокирует процесс управления летательными и космическими аппаратами, включая атаки, используя эфирные/капиллярные каналы (каналы Плато – Шихирина), «кибер-, хакер- и другими разрушителями-умельцами», как правило, рождающимися и воспитывающимися на **территориях-лентяях, не умеющих созидать новое**, например, **совершенствуются методы разрушения планеты путем создания научных и практических направлений:** нефтегазовое машиностроение, радиоэлектронная борьба (нападение и защита), мезоскопия – исследование и внедрение эксплозийных – взрыв вовне, и имплозийных – взрыв вовнутрь, процессов, используя различные промежуточные состояния текучих сред. **Кстати, эти направления и им подобные активно развиваются в Удмуртии.**

Причина 3 как следствие причины 2. Основой систем управления УАЭ является только радиоэлектроника, запускаемая и постоянно поддерживаемая в рабочем состоянии этой же УАЭ.

Все, что сказано «*о структуре материалов и процессах, происходящих в полупроводниковых материалах при наличии электрического поля и градиента концентрации носителей заряда и т. п.*» является лишь набором бессмысленных слов и предложений, поскольку, не зная структуры материи, энергии, информации и календарного времени их активации, действия/существования и дезактивации, а также принципов/законов их структуризации, никто не может объяснить: как и почему течёт электрический ток по проводам; как устроен атом, кристалл, вещество; что такое поле, хотя такого явления/процесса в природе не существует – тоже «ошибка», привзнесенная «научной» элитой по глупости или запутыванию научной общественности; что такое радиоизлучения, рентгеновские излучения; почему тела притягиваются к Земле и т. п. Автор утверждает, что плеяда всех академиков и нижестоящих по

рангу по стойке «смирно» «офицеров и прапорщиков» просто не знают или не понимают этих процессов и объясняют это от основной оси – от фонаря.

За более чем 100 лет, углеводородная и атомная энергетика (УАЭ) полностью исчерпала свои примитивные конструкторские, технологические и эксплутационные возможности, например, скорость ***c***, развиваемая от электрического движителя, находится в пределах от 1 до 97 км/сек, а ***c***, развиваемая от фотонного движителя, – до 300 000 км/сек.

Эти физические «скоростные» ограничения с «тасканием» за собой бочки с быстро расходуемым, невосполняемым и загрязняющим атмосферу и космос топливом закономерны при перемещении в условиях действия силы Ньютона (гравитация, всасывание и т. п.) и силы Архимеда (левитация, выталкивание и т. п.). То есть на Земле и подобных планетах, а также в условиях отсутствия этих сил, но наличии действия сложных винтовых сферообразных, пирамидальных и торообразных узловых (центробежных и центростремительных) движений и их комбинаций, а значит сил, присутствующих в жгутах и потоках Шаубергера™ [5], природным примером которых является ручей, река, любой растительный и животный организм и их элементы. В этих потоках и жгутах одновременно работают около двух десятков функциональных и неподчиняющихся друг другу **π (3,14...)**, чисел «Фибоначчи» и «красковых» (мерность) чисел. **«Золотое сечение» φ работает только на отрезке и плоскости (сечение), т. е. в Природе оно не работает. Оно является очень далеким и редким явлением, а в 4-мерном природном пространстве вообще не работает, кроме случайных проекций в цилиндрических, сферических и торических узловых замкнутых поверхностях.**

*Отбор энергии происходит **за счет комплекта материи, энергии, информации поддержания формы за определенное календарное время**, включая комплект природных структуризаторов наследственности: π, фибоначчиевых пропорций и узловых параметров для формирования процесса Филлотаксиса от наномира и бесконечно меньше, мегамира и бесконечно больше; приходящих из внешнего пространства – космической интеллектуальной базы (КИБ) (рис. 1), с соответствующей из нее поддержской. То есть силовые характеристики этих процессов появляются без натяжек в необходимых объемах и по мере необходимости.*

На рис. 1 показан принцип формирования космической интеллектуальной базы, в которой сформированы индивидуальные и групповые пакеты материи (**M**), энергии (**E**), информации (**I**) и календарного времени действия (**$T_{Calendar}$**) во Вселенском времени (**$T_{Universe}$**) –

MEIT$_{\text{Calendar}}$/**T**$_{\text{Universe}}$ всех видов и индивидуально каждого представителя растительного и животного мира. Структуриными элементами, на которых формируется КИБ, являются ячейки-торообразные оболочки, состящие из элементв 0-го ряда, и текучая среда под положительным давлением Эфир (Ае).

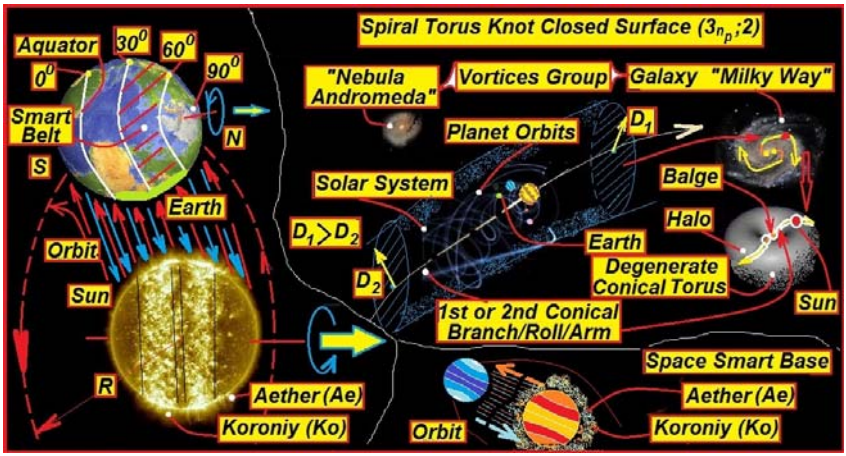


Рис. 1. Упрощенная, с позиций законов структуризации в Природе, структура рукава Галактики, Солнечной системы, космической интеллектуалной базы (КИБ) и т. п.

По старой вымышленной теории это «генетическая или наследственная информация» в виде лестницы, болтающейся в пространстве без начала и конца.

Поскольку все представители растительного и животного мира являются биороботами [15], то при нарушении/отключении/перемежающегося отказа и т. п., т. е. плохой связи между КИБ и объектом или субъектом, или их элементами, это означает нарушения процесса структуризации, существования или деструктуризации, наступает отключение у них ключевых функций с последующей смертью. Например, человек становится неуправляемым, ничего непомнящим субъектом-дураком и без посторонней помощи погибает. В процессе проведения в качестве волонтера подобных исследовательских работ автор более 5 лет наблюдал таких больных людей в системе штата Иллиноис, США, корпорации Glenkirk, IL http://www.glenkirk.org/. «For 60 years Glenkirk has been driven by our mission to provide quality, lifetime supports and services that empower individuals with intellectual disabilities to participate fully in all

areas of community life». С позиций законов структуризации в Природе автор сделал соответствующие выводы о причине отключения блока осмысливания человека от КИБ и результатов этого отключения (рис. 2).

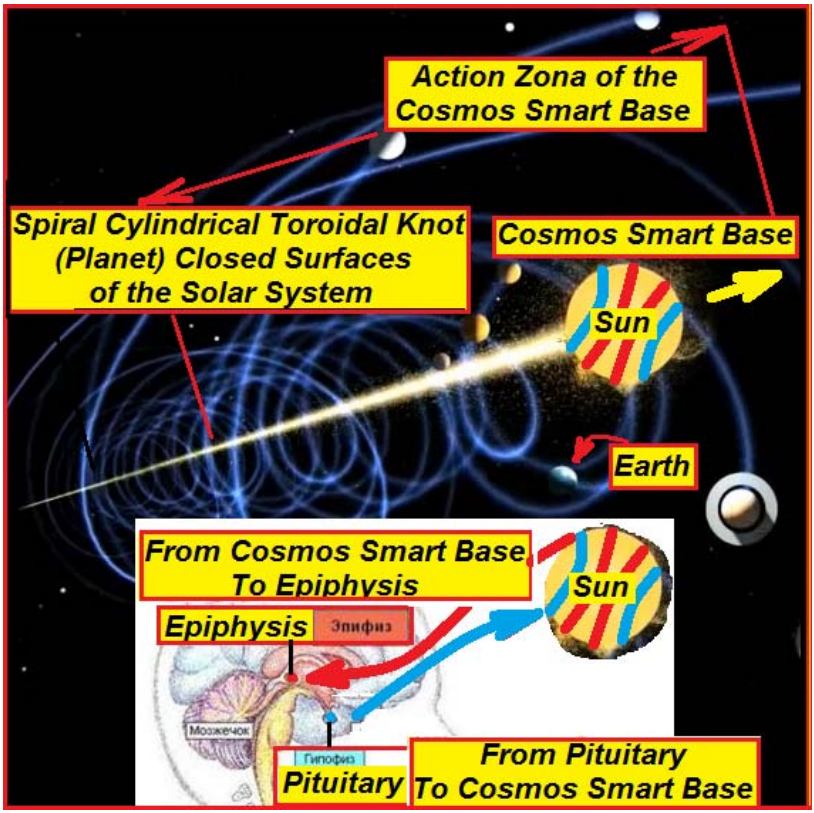


Рис. 2. Связь между элементами мозга человека – блоком осмысливания, и космической интеллектуальной базой

Традиционные плоские рисунки Солнечной системы неверны! Солнечеая система и другие зведные системы представляют из себя дерево планет, по оси которого вращением поступательно перемещается Солнце или Звезда с комплектом планет.

На взгляд автора, такими блоками, **работающими по автоматическому или ручному (экстрасенс) запросу через капилляры-каналы Плато – Шихирина (Эфир), являются:**

- ***гипофиз*** **(Pituitary) – от КИБ к человеку,**
- ***эпифиз*** **(Epiphysis) (шишковидная железа или 3-й глаз) – от человека к КИБ.**

Они и без этих предположений являются «малоизученными» процессами. Автор считает, что эти процессы вообще не изучены.

Кстати, «дураки» или «умалишенные» – это биороботы с отключенной связью с блоком «обдумывания/осмысливания» в КИБ, т. е. поступления раздражающего сигнала, обдумывания, принятия решения и отправки или замораживания ответного сигнала на исполненяющие органы.

Управление из КИБ, например, человеком, возможно только в зоне действия такой связи, т. е. в пределах Солнечной системы. За ее пределами человек отключается – становится «дураком», поэтому для перемещения человека вне ее пределов на «короткие» расстояния необходимы технологии ношения «при себе» **генераторов индивидуальных временных** $\mathbf{MEIT_{Calendar}/T_{Universe}}$, **а для длительных перемещений должны применяться** технологии разукомплектования структуры человека и его телепортации.

Возникает серьезная проблема для иммиграции на другую планету с жизненными условиями, а именно: если до Земли цивилизация, а вернее, ее элита, бросив все население на вымирание, перемещалась с Фаэтона на Марс, а с Марса на Землю в пределах действия связи в Солнечной системе между КИБ и этими планетами, то для перемещения в другую Солнечную систему или галактику необходимы технологии телепортации, которых еще нет. На это необходимо зачительное время и финансовые средства.

Автор и К^{o} осваивает финансовые или альтернативные средства только у частных корпораций или/и отдельных «знаковых» и известных своей репутацией порядочных людей без любых кабальных условий, т. е. за возможность эмиграци на планету Анна (Anne) его или персоны/персон по его выбору в будующем.

Подробная информация о структуре КИБ и ее взаимосвязи с объектом, субъектом и их элементов будет представлена в следующих генерациях автора в журналах Международного Русского (Москва) и Американского (Чикаго) физического (и химического) обществ – Русская физическая мысль (http://www.rusphysics.ru/magazine/).

Необходимо знать, что природный структуризатор, например, $\boldsymbol{\pi}$, это не просто число 3,14..., «полученное неточным опытным путем отношением длины окружности к ее диаметру», или, по автору, $\boldsymbol{\pi}$ формируется через отношение площади поверхности тора – $4\pi^2R^2$ к площади поверхности сферы – $4\pi R^2$, вписанной в него, т. е. $4\pi^2R^2/4\pi R^2 = \pi$.

Это определенный точный пакет материи, энергии, информации с определенным временем активации, структуризации, существования и деструктуризации, который по запросу из КИБ всасывается в текучую среду, управляя ее поведением, т. е. меандрированием в 4-мерном пространстве.

В частности, жгутом Шаубергера является один из двух рукавов нашей Галактики, расположенном на ее периферии, выворачивающейся вместе с ним. Но, кроме этого, рукав еще вращается вокруг своей оси и т. п.

По оси этого рукава – винтовой цилиндрической узловой поверхности, поступательно вращением от центра тора-Галактики – *балджа* – перемещается Солнце, тянущее в «связке» дерево планет Солнечной системы, имеющих свои орбиты с непересекающимися узловыми, «красковыми» и филлотаксистными параметрами.

Процесс обдумывания и осмысления осуществляется с помощью *блока осмысливания* (***Comprehension Block***^{TM}), находящегося в системе мозга человека и подсоединяемого к интеллектуальной космической базе (КИБ) через определенную железку в прямом и обратном направлениениях по запросу из/в КИБ (рис. 1, 2).

Автор описывает нарушение механизмов чрезмерного или затоможенноного поступления в организм человека нобходимого комплекта материи, энергии, информации за строго определенное количество календарного времени во Вселенском времени. Эти нарушения приводят:

- к анамалиям роста, дистрофии, задержске полового развития и избыточного отложения жира, импотенции и т. п.;
- инфальтизму, кретинизму, лилипутизму и карликовому росту и т. п.;
- соответствующему специальному отбору и развитию таких индивидуумов возникают целые социумы ненормальных людей, задачи для отбора которых связаны к прямым нарушением наследственных признаков и, якобы, удучшения породы элитного социума. На взгляд автора, такой неестественный отбор личностей привел к полному выхолащиванию элиты: не только ее внешних признаков, например, взгдяд придурка, но и внутренних, незаметных отрицательных паразитических функциональных особенностей целых цивилизаций, то есть вивилизации отрицательной интеллектуальной оринтации с биороботами, также обладающих такими особенностями;
- автор предполагает, что в процентном соотношении часть родственников, унаследовавших «богатства» отцов и прадедов, включая генетические, имеет существенно больший процент таких отклонений.

По истечении длительного времени, минимум 300–400 лет, вот так возникали целые цивилизации, по терминологии автора, цивилизации отрицательной интеллектуальной ориентации, к которой относится наша

цивилизация с элитой-фараонами, перемещающаяся с планеты на планету, предваительно загадив ее до такой степени, что уже становится невозможно существование растительного и животного мира.

Тогда весь интеллектуальный класс цивилизации по заданию начальников-фараонов разрабатывал средства перемещения на другие планеты, искал эти планеты, приспособленные Природой для жизни, осуществлял туда перемещение фараонов-начальников с обслугой и гаремом, а сам, при необходимости, брался с собой или оставался на отработанной планете для последующей мучительной смерти.

Эти же события ожидают и нашу цивилизацию, 99,999...% которой будет оставлено на Земле для медленного мучительного вымирания от космической радиации и удушья. Ярким примером такого нарушения являлась месячная жара, происходившая летом 2010 года в России, которая была спровоцорована зависшей над широтами России гигантской озоновой дырой. Результаты этого облучения еще скажутся на жизни русского социума.

Более того, понимание этого процесса привело автора к мысли о создании условий для отключения человека от КИБа на время для проведения каких-либо полезных исследований человечества и спасения его семени или отключения *гипофиза* и/или *эпифиза* вообще от КИБ, поскольку цивилизация уже потеряна для Вселенной.

2. Природное 4-мерное вращающееся пространство 4D

«У пчелиной семьи автоматически формируется правильная природная структура с выбором/назначением ее элиты для обязательного выполнения возложенных на нее функциональных обязанностей.

В случае их нарушения семья немедленно уничтожает несправившуюся элиту и выбирает новую или погибает, не успев структуризировать в ограниченное для этого процесса время». Автор

Одной из многочисленных трагических «ошибок» человечества было насаждение ему его элитой 3-мерного Декартова пространства с несуществующими в Природе и ненужными восемью октантами, включая «положительный». Системные «важнейшие» ошибки привнесли в интеллектуальную деятельность человечества назначенные элитой казенные «ученые»: Пифагор, Ньютон и Декарт – частично, Эйнштейн – полностью и др.

Так, одной из функциональных особенностей 3-мерного Декартова пространства является «золотое сечение», «золотая пропорция» или «золотое отношение» φ, приведшее к *обобъемливанию* объектов и субъек-

тов Природы, т. е. искажению реальной картины мира. А именно: один из двух корней *алгеброического уравнения* (φ2 – φ-1) = 0 равен (1+√5)/2.

В свою очередь, это уравнение было выведено из соотношений сторон плоского треугольника, который или которые (стороны) могут быть проекциями ***винтовых сферических, торических, пирамидальных узловых замкнутых поверхностей 4D и 8D***, открытых автором [1], **где основную функциональную нагрузку несут одновременно несколько π, которые в этом случае изчезают вместе с Природой, выпячивая ботоксное «золотое отношение», не работающее вообще в природном 4-мерном Фуллеровом пространстве – сфера 4D, и тем более в природном 7-мерном пространстве Шихирина** – тор 7D [1].

Природное 4-мерное Фуллерово пространство 4D [2], «вслепую» (по инстинкту, по природной программе), реализуемое пчелами на строительстве соты с четырьмя осями (рис. 2), угол между которыми равен ~109°28'... [3].

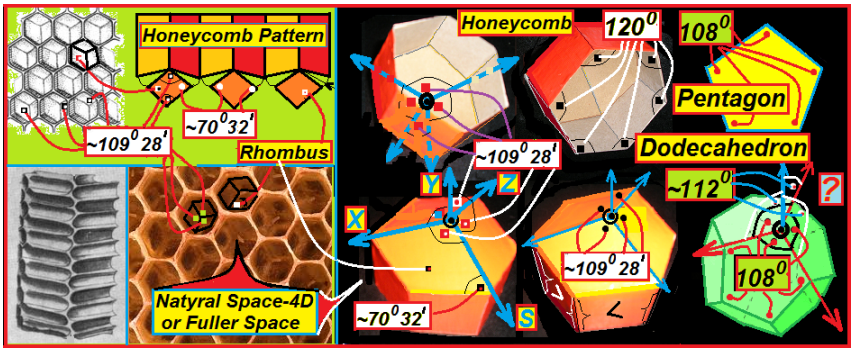


Рис. 2. Природное 4-мерая система координат, являющаяся структурой Фуллерова пространства – всего 6 углов по ~109°28' между четырмя осями, инстинктивно (управление из космической интеллектуальной базы) формируемое пчелами и «стремящаяся» к нему додекадрическая система координат – 3 угла по 108 и три угла по ~112°

На рис. 2 показано: слева вверху – развертка соты, слева внизу – плотная упаковка сот, справа – структура соты, состоит из 2 частей:

- многогранника – шестигранной (*n* – число сторон, 6) призмы с равными сторонами, сумма внутренних углов равна 180°(*n* – 2) = 180° · 4 = = 720°, тогда угол между сторонами равен 720° : 6 = 120°;
- 6-гранная призма опирается на три объединенные вместе ромбовидные плоскости или 3-ромбическое основание с тремя тупыми углами

между собой по ~109°28'. То есть ребрами этого основания являются 3 оси из 4 осей 4-мерного пространства.

Не трудно заметить, что если в вершину этого основания провести прямую, равноудаленную от каждого из 3 ребер/осей основания, то получится такой же угол, равный ~109°28'.

Размеры этих углов никак не говорят о максимальном вместилище меда при наименьшей затрате воска. Они говорят об инстинкте пчел или о внешнем управлении пчелами из космической интеллектуальной базы (КИБ), именно в момент строительства двухслойной зеркальной системы сот (рис. 2, слева внизу).

Парадокс заключается в том, что мы можем говорить только о 3 пентагонах в додекаэдре, расположенных относительно друг друга на 108^0, и если мы в точку их соединения проведем прямую, ранозначно удаленную от них, то получим три угла относительно 3 ребер/осей додекаэдров и новой прямой, являющейся 4-м ребром/осью ~112^0. Автор не нашел способ соответствующего вычисления данного угла, поэтому применил старинный практический способ из **занимательного черчения** (И. А. Воротников. Занимательное черчение. М., Просвещение, 1969), а именно: формирование теневого изображения угла, его вычерчивание и измерение транспортиром.

Рассуждаем далее: если к соте приделать крышку, подобную ее донышку, то получившаяся фигура будет называться ***ромбическим додекаэдром****, имеющим 12 граней: 6 квадратов/прямоугольников и 6 ромбов: по три на крышку и донышко.* ***В Природе это зернышко/кристалл фрукта гранат***) [18].

Для справки: сумма внутренних углов пентагона равна 180°(n – 2) = 540°, где n=5 – количество строн многоугольника-пентагона, тогда внутренний угол пентагона равен 540^0:5=108^0.

Получается, что в Природе плотной упаковки додекаэдров – Пены^{4D}, не существует из-за разницы в углах 108^0/~112^0 и ~$109^0$28', т. е. ~$1^0$28'/~$2^0$32'.

Как это объяснить физически?

Автор считает, что в Природе идеальной плотной упаковки из Архимедовых, Платоновых тел и их модификаций (тела) не существует, но зазоров между телами тоже быть не может. Зная про трехкомпонентность пространства, т. е. плотную упаковку – Пену^{4D}, состоящую из этих тел-оболочек, которые, в свою очередь, состоят из материала оболочки (2-я компонента), текучей среды под избыточным давлением (3-я компонента) и межоболочечного пространства – каналов/скелета Плато –

Шихирина или Эфира (1-я компонента) [14–16], то эти заложенные Природой зазоры нестыковок тел «мнгновенно» заполняются меньшими по размеру телами до бесконечности, пока не наступает предел. Но не в окончательном заполнении телами, а в препятствии заполнении **... мягким и эластичным эфиром, который как прокладка (1-я компонента)** заполняет это пространство.

Продолжим рассуждения дальше. Во всех теориях структуры Вселенной, ее «рождения» (?!), «сотворения» (?!), формирования (?!) и т. п.

Пространство Вселенной имеет размерность 4D, т. е. 4 оси под углом ~$109^0 28'$ [3] и заполнено плотной упаковкой сферообразных (Платоновы, Архимедовы тела и их модификации) и торообразных, включая VTortex, оболочек-линз или/и оболочек-ежей.

Известно, что мерность сферы или любого многогранника-линзы или ежа соответствует количеству «красок», т. е. 4 ***квотерам***, поэтому координаты точки можно обозначить как, напрмер, точка N(a;b;c;d).

Точка может располагаться в одном из квотеров, на плоскости-границе двух квотеров, на одной из осей и на пересечении 4 квотеров, т. е. в центре системы 4 координат.

Поскольку непонятно, как эти треугольники располагать в плотной оболочке перчисленных выше тел, поэтому бессмысленно говорить об известных трех основных геометрических теориях пространства или «геометрий»:

– Евклидовой геометрии (Euclid, 325–265 до н. э.), в которой сумма углов треугольника равна 2D,

– геометрии Лобачевского (Nikolay Lobachevsky,1792–1856), в которой сумма углов треугольника меньше 2D,

– геометрии Римана (Bernhard Riemann, 1826–1866), в которой сумма углов треугольника больше 2D.

Следует знать, что в оболочках-линзах давление текучей среды больше, чем давление текучей среды в межоболочечном пространстве, и, наоборот, давление в оболочке-еже меньше, чем давление в межоболочечном пространстве, соответственно.

Можно сказать, что в оболочках-линзах давление положительное или избыточное, а в оболочках-ежах – отрицательное или вакуумное (рис. 3).

Но в любом случае, в ***межквотерном*** пространстве находятся «светящиеся – инертные газы – и стянуты все химические элементы, расположенные в местах соединения вершин многогранников – оболочек – линз или между вершинами многогранников – оболочек – ежей.

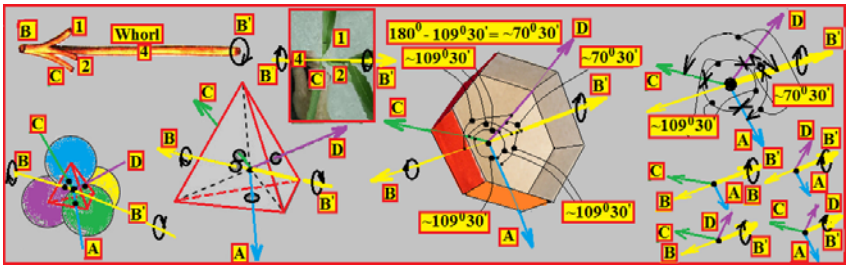


Рис. 3. 4-мерное пространство на примере пчелиной соты, растения Элодеи с мутовчатым листорасположением и мутовкой – старинным предметом кухонной утвари для взбалтывания, взбивания, например, квашенки для приготовления теста

На рис. 3 представлена функциональная сфема 4-мерного пространства, построенная нетрадиционно, т. е.:

- 4-мерное пространство подстраивается под объект перемещения или перемещается вместе с ним;
- 4-мерных пространств бесконечное множество, как и бесконечное множество обхектов и субъектов Природа;

4-мерное пространство перемещается вперед, выдвигая перед собой в положительную область/квотер 4-ю ось;

- 4-мерное пространство вращается относительно 4-й выдвинутой в положительный квотер оси, формируя филлотаксисный процесс;
- отрицательная часть 4-мерного пространства отсутствует, поскольку его в Природе просто нет. Такое отрицательное пространство существует в 3-мерном Декартовом пространстве, даже лишних 7 октантов с отрицательной осью имеются. Для каких целей его ввели чиновники?

Автор считает, что просто от недопонимания предмета геометрии, а Декарта просто подставили:

(+X, +Y, +Z)1; (+X, +Y, –Z)2; (+X, –Y, +Z)3; (+X, –Y, –Z)4;
(–X, +Y, +Z)5; (–X, –Y, +Z)6; (–X, +Y, –Z)7; (–X, –Y, –Z)8.

Меандрирующее прохождение всех силовых, тактильных, звуковых, световых, запаховых и других усилий/воздействий и т. п. рассматриваются их прохождением через/сквозь структуру природного вращающегося 4-мерного пространства вывернутым наизнанку квотером или осью-ручкой мутовки вперед относительно его оси-мутовки с тройным листорасположением (три оси 4-мерного пространства).

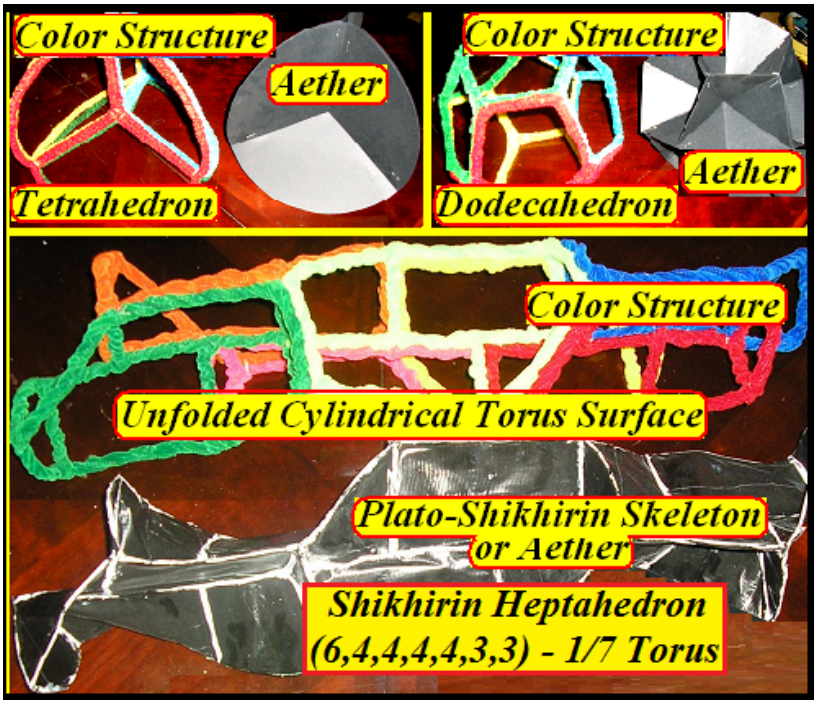


Рис. 4. Примеры трехкомпонентной структуры сферических (вверху) и торовых типовых форм/оболочек/линз (внизу)

На рис. 3 в правом нижнем углу отдельно показаны 4 квотера, а также процесс формирования 4-мерного пространства с базой – пчелиной сотой:

– вверху: 4-мерные (четыре «краски») додекаэдр, тетраэдр и их эфирные скелеты (Dodecahedron and Tetrahedron Plateau-Shikhirin Skeleton), где происходят все энергоинформационно-материальные процессы. Оси 4 «красок» всех выпуклых многогранников, сферы и комбинаций многогранников и сфер расположены под углом ~$109^0 30'$.

– внизу: 7-мерный (семь «красок») тор (цилиндрическая торовая развертка и их эфирные скелеты, где происходят все энергоинформационно-материальные процессы. Оси 7 «красок» расположены под углом ~$51^0 26'$.

3. Особенности природных явлений с позиций структуры пространства Вселенной, жизненного слоя на планетах в условиях для жизни, включая Землю и, конечно, скрытого для общественности Эфира (Ае)

Все существующие сегодня реальные и выдуманные законы природы описаны без учета структуры пространства:

- без плотной упаковки сферообразных и/или торообразных оболочек-линз и -ежей, заполненных текучей средой под положительным/избыточным и отрицательным/вакуумом давлением, соответственно;
- с учетом только поощряемых неконтролируемых эксплозийных – взрывов вовне, непонимая, забыв или не зная про 50 % взрывов вовнутрь – имплозийных процессов:
  - ✓ в наномире и бесконечно меньше на так называемых андронных коллайдерах;
  - ✓ в мегамире и бесконечно больше при испытаниях атомных зарядов на полигонах, в военных и гражданских целях, а также в космосе, не понимая, что это самые опасные воздействия на структурообразующие процессы в Солнечной системе и Земле, в частности, которые могут перейти на деструктурообразующие процессы и привести к разбалансировке эластичного механизма Солнечной системы, Земли и Луны в частности и т.п.;
- без учета его (пространства) размеров от наномира и бесконечно меньше, мегамира и бесконечно больше;
- без все-соединящего и -разъединяющего эфира;
- без введения лишних паразитных и дезориентирующих человека элементов типа:
  - ✓ аморфного и плазменного состояния;
  - ✓ различных полей и попыткой объединения их единым полем;
  - ✓ вместо логических неотразимых доказательств и дейтвительно значимых в Естествознании исторических имен высшего уровня как Менделеев, Архимед, Платон, Кеплер, Плато, Чижевский, Циолковский, Акимов, Шаубергер, Гребенникова, Кельвина и многих других истинных природных ученых-инженеров-пионеров-патритов и т. п.

Поэтому автор не стал проводить анализ законов по известной всем «табличке», например, законов физики, а уж химии, биологии тем более, поскольку большинство из них неверно истолковано, просто придумано или сфальцифицировано и т. п., а описал только некоторые, наиболее важные, и знакомые для понимания читателем.

Например: *«Физика – это наука о материи, её свойствах и движении».*

Но если неизвестно или неверно истолкованно, что такое материя, ее структура, законы ее трансформации от винтовой цилиндрической, сферической к тороидальной узловой замкнутой поверхности со сквозным переходом параметров (n; p; m; n; 4D–7D), и наоборот, а также и движения (перемещения), то следуюшие рассуждения бессмысленны, а значит неверны.

Более того, не просто от материи без размеров, веса, формы и т. п., а какой-то ее части с неотъемлимой от нее и соответствующей ей энергии, информации и календарного времени ее существования и т. п.

По экспертной оценке автора (этих данных нет в литературе):

- **плотность Земли p_{Earth} составляет не более 2 г/см^3 (бетон, пластилин) с учетом того, что ее центральная часть – звездчатый икосаэдр, который составляет 20–50 % объема планеты – «пустой». По официальному справочнику назначенная *назначенными* «учеными»-чиновниками плотность земли p_{Earth} = 5,5 г/см^3;**
- за одно полное выворачивание 360^0 относительно продольной оси Галактика-VTortex производит $3n_p$ (точное число) ~ десятки – сотни тысяч планет-додекаэдров и звезд-додекаэдров в секунду, учитывая, что отношение количества планет и звезд/солнц составляет ~10/1;
- масса типовой действующей галактики VTortex ~2·10^{28}тонн;
- максимальный диаметр галактики – конического тора/VTortex, ~30 Кпк;
- угол конусности постоянен и равен ~ 3–5^0;
- избыточное давление в торообразной оболочке-линзе, по мере выворачивания конического тора/VTortex, постоянно и равно ~10^{31}атмосфер (на пределе). Это условие необходимо для того, чтобы конический тор-Галактика не прогнулся от недостатка давления или не лопнул от его избытка. Этот динамический «закон набухания» с определенными характеристиками открыт автром. Смысл его работы заключается в том, что поддержание постоянной конусности – «набухание» (Bloating), т. е. увеличение физико-технических параметров любого природного VTortex – Шихирина, в том числе галактики – перемещается безопорно или самоопорно в зону разряжения наволакиванием, т. е. головой вихря вперед. Процесс постоянного всасывания текучей среды в тор-Галактику происходит автоматически из внешней среды с помощью эфира:

1) как смазки и регулятора входного отверстия каналов Плато – Шихирина для поддержания природной типовой формы тора/VTortex (как и в торнадо – тор/VTortex), т. е. из космического пространства для любой действующей галактики, торнадо, атома и т. п. путем высасыва-

ния из каналов Плато – Шихирина **текучей среды соответствующего состава с Эфиром;**

2) **как изменения узловых параметров** тора/VTortex **по меридиану и параллели для увеличения или уменьшения его мощьеости** и т. п.

При этом:

- жизнь на Земле существует только в биосфере – сфере Жизни растительного и животного мира. Большая часть жизни на планете находится в пределах 3 метров ниже уровня поверхности земли и 30 метров выше этого уровня, в также на глубине не более 200 м в морях и океанах;
- литосфера – каменная оболочка Земли, без учета высоты гор, имеет толщину всего 13-15 км!, т. е. от поверхности Земли до вакуумной камеры планеты – самой близкой вершины звездчатого икосаэдра;
- гидросфера – водная оболочка Земли, занимающая более 70 % планеты, имеет максимальную глубину в Марианской впадине до 11 км, от дна которой до вершины звездчатого икосаэдра всего 2–4 км!;
- тропосфера – часть атмосферы Земли, где находится более 80 % всей массы атмосферного воздуха и около 90 % всего имеющегося в атмосфере водяного пара. Граница тропосферы **находилась на высоте ~10 км и представляла из себя до 1985 года**, до внезапного «открытия» озоновых дыр, 6 упругих ячеек-торов. С учетом исследований автора [2] тропосфера планеты, **начиная с 80-х годов прошлого столетия, на сегодня уже потеряла 10–15 % своего объема, т. е. осталось 4 ячейки-тора, и опустилась на высоту 5 км.**

При известном законе уменьшения объема атмосферы, перераспределения его остатков в атмосферных Полярных ячейках-торах, ячейках-торах Ферреля и Хадлея в отрезках календарного времени этот процесс интерполирован, а затем экстраполирован в будущее – на «крыльях экстраполяции».

В итоге получается, что жить Человечеству на Земле осталось на 175–200 лет или 8–10 поколений, если не ускорит добычу углеводородов из новых сверхглубоких месторождений и расконсервирует старые скважины для добычи «густых» углеводородов применением новых эксплозийных технологий!

Таких законсервированных и просто брошенных скважин в Удмуртии автор наблюдал огромное количество, включая расковыренные и неиспользованные месторождения опасных для жизни растительного и животного мира местрождений.

Более того, жизнь на планете может просуществовать в разы меньше, поскольку существует определенный природный баланс «между 3 давлениями», т. е. $\boldsymbol{P_{Earth}} < P_{Atmosphere} > P_{Spase}$ или

$$(1\cdot10^{-6}\rightarrow1\cdot10^{-10})\text{Pa} < 1{,}013 \bullet 10^{+5}\text{Pa} > (1\cdot10^{-10}\rightarrow 1\cdot10^{-16})\text{Pa},$$

в котором атмосфера играет роль мягкой/эластичной оболочки, заполненной текучей средой под избыточным давлением $1{,}013 \bullet 10^{+5}$Pa (760 мм рт. ст.), а в ней находится другая оболочка – вакуумная камера, заполненная текучей средой под отрицательным давлением $(1 \cdot 10^{-6}\rightarrow1 \cdot 10^{-10})$Pa.

По экспертным расчетам автора при дальнейшем всасывании атмосферы (2014) в вакуумную камеру Земли произойдет (2132) выравнивание «бывшего» **положительного** атмосферного давления и **отрицательного** давления в вакуумной камере планеты. Этот процесс приведет к резкому увеличению давления в вакуумной камере Земли по сравнению с неизменившимся давлением в космосе. Баланс 3 давлений будет нарушен. Более того, отрицательное давление в вакуумной камере планеты, играющее роль гравитационного центра или центра тяжести, не будет играть роль стягивающего центра всего земного вещества, а планета от такого перепада давлений взорвется.

Для лучшего понимания законов структуризации Природы, выбранных автором, вначале рассмотрена общая структуру пространства Вселенной, состоящая из плотной упаковки оболочек-линз, заполненных текучей средой под избыточным давлением.

Безоболочечное пространство заполнено текучей средой под отрицательным давлением, представляющей из себя газ Эфир (Ae) атомным весом и комплектом инертных газов, включая «закрытый начальством» коренной инертный газ короний (Ko), в определенной пропорции. Например, короний был открыт Юнгом и Харкнесом в короне Солнца при его затмении в 1869 году, а затем переоткрывался неоднократно, но был почему-то забыт...

С этой функциональной схемой, представляющей принципы структуризации материи, энергии, информации и календарного времени жизни объекта или субъекта N (активация, жизнь/существование, деструктуризация и смерть) и необходимо проводить следующее рассуждение относительно некоторых законов Природы.

К счастью для честных учителей физики и химии, в средних и высших учебных заведених эта информация будет или была бы шоком, но счастливой неожиданностью, ну а для конъюнктурных лжефизиков и лжехимиков, и других родственных к этим предметам «специалистов», информация будет как костюм с надутыми мышцами всех частей тела, вдруг превративший их суперформы в жалкие хилые тельца.

Хочу воспользоваться случаем и сказать читателю, что такими настоящими учителями физики, химии и математики (два учителя) в 30-й школе Ижевска в 1964–1966 гг (математический класс) были ***Анатолий Петрович***

Башорин, Ольга Александровна Ломаева, Крюкова Ольга Александровна и Валентина Николаевна Русских.

Итак, сначала покажем истинную, несфальсифицированную таблицу Дмитрия Менделеева (рис. 5).

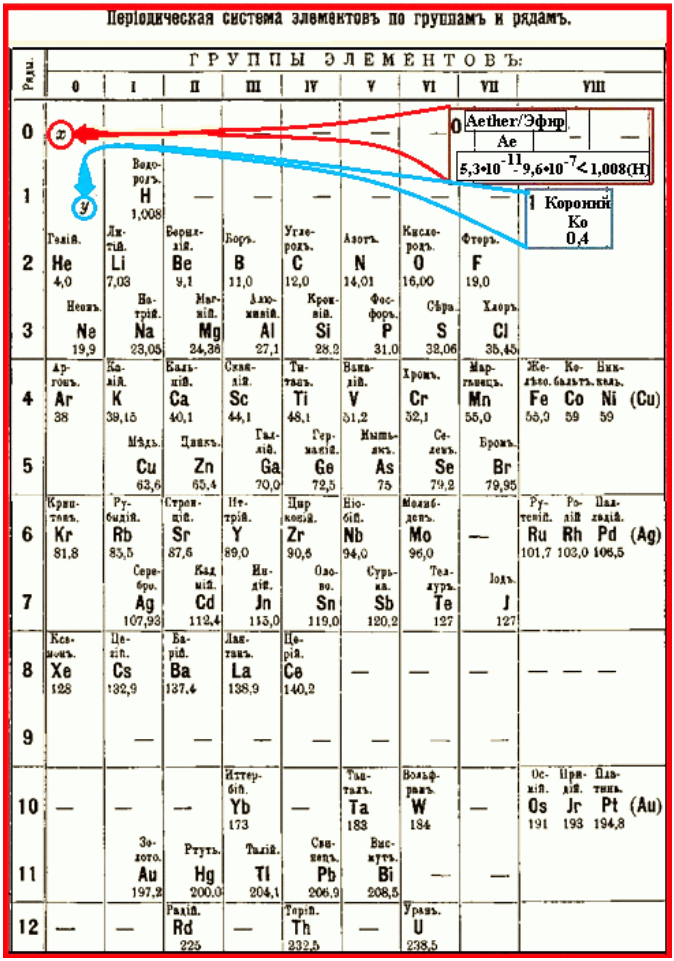


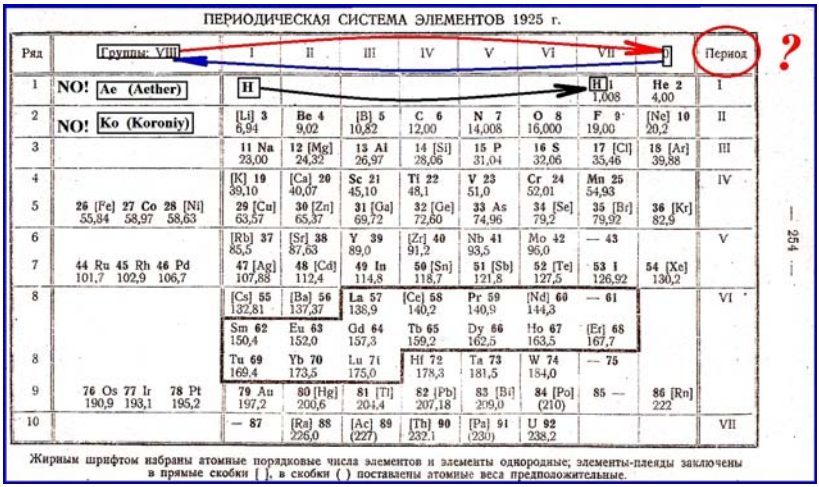
Рис. 5. Подлинная, несфальсифицированная таблица химических элементов Д. И. Менделеева (1902) «Периодическая система элементов по группам и рядам» [1]

«Все тайное становится явным»

Библия. В Евангелии от Марка (гл. 4, ст. 22) и от Луки (гл. 8, ст. 17) сказано: *«Ибо нет ничего тайного, что не сделалось бы явным, ни сокровенного, что не сделалось бы известным и не обнаружилось бы».*

«Все крупнейшие тайны моего города-завода-гулага Ижевска и Ижевского механического института (с 1951 года по н/в) по законам структуризации в Природе в скором времени будут известны всем современникам». Автор

На рис. 5 показана несфальсифицированная система элементов, представляемая другом Дмитрия Менделеева Николаем Меншуткиным (1842–1907), а на рис. 6 через 20 лет показана уже сфальсифицированная до неузнаваемости система элементов, представленная в книге, заказанной Борису Меншуткину (1874–1938) – сылу Николая Меншуткина?!



ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ 1925 г.

Ряд	Группы: VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	Период
1	NO! Ae (Aether)	H						[H] 1 1,008	He 2 4,00	I
2	NO! Ko (Koroniy)	[Li] 3 6,94	Be 4 9,02	[B] 5 10,82	C 6 12,00	N 7 14,008	O 8 16,000	F 9 19,00	[Ne] 10 20,2	II
3		11 Na 23,00	12 [Mg] 24,32	13 Al 26,97	14 [Si] 28,06	15 P 31,04	16 S 32,06	17 [Cl] 35,46	18 [Ar] 39,88	III
4		[K] 19 39,10	[Ca] 20 40,07	Sc 21 45,10	Ti 22 48,1	V 23 51,0	Cr 24 52,01	Mn 25 54,93		IV
5	26 [Fe] 27 Co 28 [Ni] 55,84 58,97 58,63	29 [Cu] 63,57	30 [Zn] 65,37	31 [Ga] 69,72	32 [Ge] 72,60	33 As 74,96	34 [Se] 79,2	35 [Br] 79,92	36 [Kr] 82,9	
6		[Rb] 37 85,5	[Sr] 38 87,63	Y 39 89,0	[Zr] 40 91,2	Nb 41 93,5	Mo 42 96,0	— 43		V
7	44 Ru 45 Rh 46 Pd 101,7 102,9 106,7	47 [Ag] 107,88	48 [Cd] 112,4	49 In 114,8	50 [Sn] 118,7	51 [Sb] 121,8	52 [Te] 127,5	53 I 126,92	54 [Xe] 130,2	
8		[Cs] 55 132,81	[Ba] 56 137,37	La 57 138,9	[Ce] 58 140,2	Pr 59 140,9	[Nd] 60 144,3	— 61		VI
		Sm 62 150,4	Eu 63 152,0	Gd 64 157,3	Tb 65 159,2	Dy 66 162,5	Ho 67 163,5	[Er] 68 167,7		
8		Tu 69 169,4	Yb 70 173,5	Lu 71 175,0	Hf 72 178,3	Ta 73 181,5	W 74 184,0	— 75		
9	76 Os 77 Ir 78 Pt 190,9 193,1 195,2	79 Au 197,2	80 [Hg] 200,6	81 [Tl] 204,4	82 [Pb] 207,18	83 [Bi] 209,0	84 [Po] (210)	85 —	86 [Rn] 222	
10		— 87	[Ra] 88 226,0	[Ac] 89 (227)	[Th] 90 232,1	[Pa] 91 (230)	U 92 238,2			VII

Жирным шрифтом набраны атомные порядковые числа элементов и элементы однородные; элементы-плеяды заключены в прямые скобки [ ], в скобки ( ) поставлены атомные веса предположительные.

Рис. 6. Сфальсифицированная система элементов [6]

А через 110 лет автором и К^{o} была раскрыта уже вся афера по фальсификации работ Дмитрия Менделеева и фамилии заказчиков и исполнителей.

Дополнительные функциональные характеристики, включенные автором в несфальсифицированную таблицу элементов Дмитрия Мнделеева:

(1) *По массштабному фактору пространства Вселенной – от наномира и бесконечно меньше и мегамира и бесконечно больше.*

(2) *По плотности заполнения внутренней индивидуальной структуры объекта, субъекта или их элементов по отношению к внешнему окружающему пространству.*

(3) *По незаполненным как минимум 0-му и 1-му рядам несфальсифицированной таблицы элементов Дмитрия Менделеева, хотя часть из них раскрыта по его методике.*

(4) *По плотности заполнения структуры внешнего пространства по отношению к объекту, субъекту или их элементам.*

(5) *По температуре и/или давлению, независимо от размеров объекта, субъекта или их элементов, включая «холодную» звезду или «горячее» солнце.*

(6) По наличию у планеты или звезды (солнца) вакуумной камеры, а значит атмосферы, и соотношение давлений в вакуумной камере, атмосфере планеты/звезды и окружающего космического пространства.

(7) *По календарному времени структуризации/деструктуризации (активации, развития, существования и дезактивации), например, время структуризации/деструктуризации в мегамире любой действующей VTortex-галактики составляет сотни тысяч лет, а структуризация/деструктуризация подобного VTortex-атома – секунды.*

(8) По физическому параметру «связность» – все химические элементы и Эфир представляют из себя атомы-торы или VTortices-Atom с параметром связностью у тора/VTortex, равной по формуле $h = 2p + 1 = 2 \cdot 1 + 1 = 3$, где количество дырок в торе $p = 1$ и т. п.

Автор считает, что развитие таблицы Дмитрия Менделеева еще не предел.

4. Перемещение силового, тактильного, звукового, светового, запахового и других материоэнергоинформационных воздействий/усилий «сквозь» структуру природного вращающегося 4-мерного пространства

Удивительное рядом! Будь любопытен! Не проходи мимо! Смотри в корень! Крылатые выражения

«Простое – это все, что окружает нас! Оно удивительно, поскольку мы не знаем про него ничего! Постоянно держи включенным блок осмысления, даже тогда, когды ты бодрствуешь или спишь»! Смотри в ***Космос-Корень****, поскольку вся интересующая тебя материя, энергия, информация и календарное время активации, структуризации, существованиия и деструктуризации объекта/субъекта во Вселенском времени находится в* ***космосе****».*

Отредактированные автором эти же крылатые выражения с позиций пиродных законов структуризации.

Для лучшего понимания взаимодействия структуры пространства с силовыми, световыми и другими перемещениями внутри него материи, энергии или информации за определенное календарное время во Вселенском времени представим на рис. 7:

A. трехкомпонентность пространства;

B. формы оболочек-линз и -ежей;

C. трехфазность состояния материи.

В нижней части рисунка показаны 4 поверхности:

– плоскость или разверткатка, из которой можно сформировать замкнутые поверхности: цилиндрическую, сферу (шар) и тор. Поскольку плоскость-развертка – это двусторонняя разомкнутая поверхность, не имеющая объема, то эта поверхность не существует в Природе;

– цилиндрическая, сферическая и торическая поверхности являются природными, и, более того, являются винтовыми и переходящими узловыми параметрами, например, при развитии растительного, животного мира и их элементов.

На рис. 7 показана структура 3-компонентной структуры материи **Вселенной, состоящей:**

1) из межоболочечного-межлинзового пространства под отрицательным давлением или межоболочечного-межевого пространства под положительным давлением, соответственно. Межоболочечное пространство или скелет/каналы Плато – Шихирина (Aether or Plateau-Shikhirin Skeleto/Channel), по мнению и результатам исследования автора, сконцентрированы/стянуты к оси или осевой плоскости межоболочечного пространства между оболочками-линзами или сконцентрированы/стянуты к стенкам межоболочечного пространства между оболочками-ежами. Это эфироинертное (от инертный газ) и инертноэфирное пространство пропускает сквозь себя свет действующих и взрывающихся галактик, формирует свет во Вселенной и цветовое радужное «обрамление» планет, звезд и короны солнц в направлении от легких к тяжелым инертным газам, начиная от Эфира (Ae) и Корония (Ko) и заканчивая Ксеноном (Xe) и Радоном (Ra).

Необходимо помнить, что Короний (Ko) – коренной газ инертных благородных газов был включен Дмитрием Менделеевым в его несфальсифицированную таблицу элементов в 0-ю группу и в 1-й ряд, перед водородом (H), под названием «У». Предстоят открытию элементы в незаполненном 0-м и 1 рядам;

2) оболочек или материала оболочек-линз или -ежей (Shell Material);

3) текучей среды (Filler), заполняющей оболочку-линзу под положительным или под отрицательным давлением, соответственно.

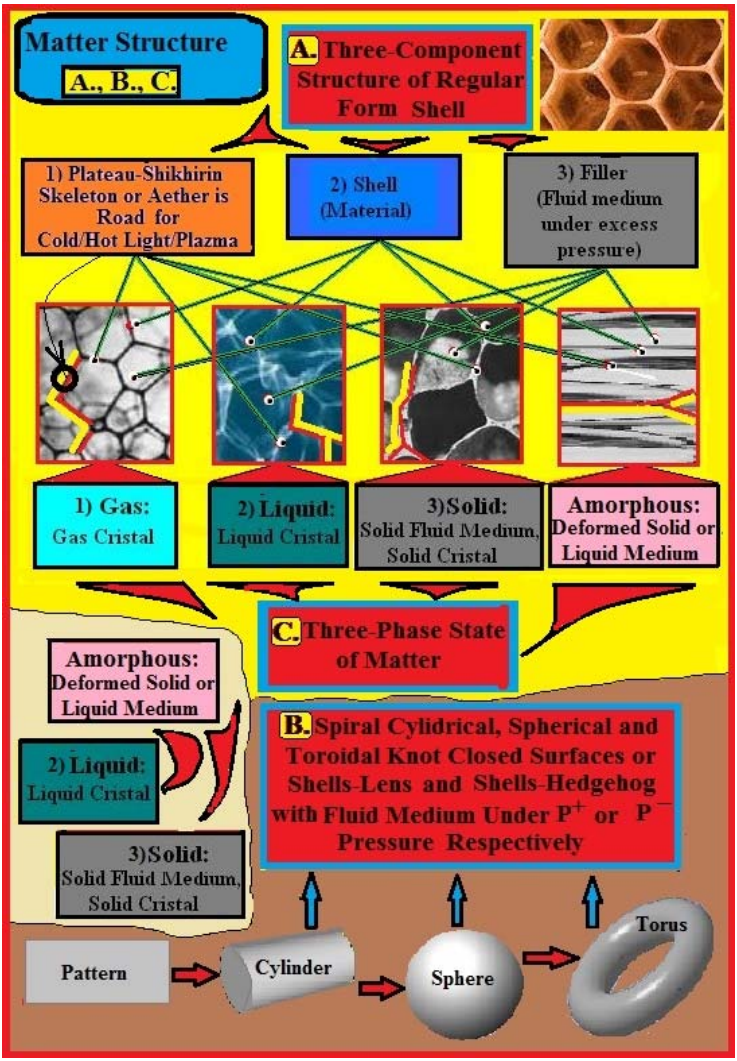


Рис. 7. 4-мерное Фуллерово пространство, состоит из плотной упаковки цилиндрических, сферических и тороидальных оболочек с одинаковыми топологическими характеристиками, переходящих друг в друга, заполненных под положительным или отрицательным давлением. Показаны только оболочки-линзы

Аналогия взята из реальной практики – удара или толчка **вдоль поезда, – и при правильности распределения условий задачи может объяснить формирование скоростей аномально более скорости света, навязанной некоторыми авторами и «узаконенными» лжетеориями.**

Очень важно понять этот механизм и найти простые аналогии, доступные для понимания этого процесса.

На наш взгляд, такая аналогия существует – это «толчок вдоль поезда», рассмотренный в [19] (рис. 8, *1*).

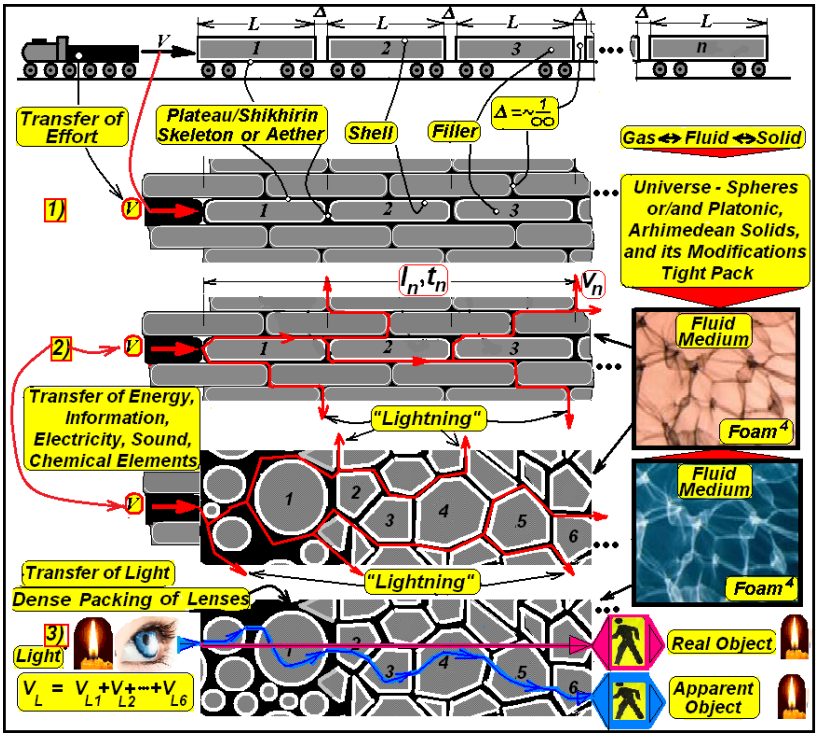


Рис. 8. Передача усилия (*1*), передача информации, энергии, материи (*2*) и **света** (*3*) во Вселенной

Читателю должно быть понятно, что этот и многие другие убедительные и простые примеры, косметически окруженные намеками на Природную правду, которая была запрещена «смотрящими» от науки в ГУЛАГе СССР в **1976 году и ранее.**

К сожалению, ничего не изменилось, посколку вышедшее в 1964 году секретное решение Президиума АН СССР о запрете печатания материалов, направленных против эйнштейнианства, а значит, запрет на Мировой Эфир, не отменено. Даже если кто-то из них случайно прочитает эти материалы, то они просто ничего не поймут, кроме того, а как из этого вытащить выгоду – выгоду из взрывающейся планеты, взрыв которой умышленно спроектирован и осуществлен ими, живущими на этой же планете!

Поскольку происходит дальнейшее продолжение РАНом инквизиторских традиций АН СССР вместе с нарушением ими герметичности оболочки Земли, в результате чего произошло всасывание 10–15 % атмосферы в вакуумную камеру планеты, резкое увеличение разности давлений между давлением в вакуумной камере планеты, атмосфере и окружающем космическом пространстве. Это равносильно вытащенной чеки из готовой к взрывынию гранаты в ближайшие 100–200 лет, а может быть через неделю.

До создания такого оружия не догадались все силовые структуры мира.

Итак, возьмем пример из этого источника и дополним его. Для удобства объяснения и понимаания процесса покажем плотную упаковку, сформированную из сферообразных оболочек-линз-вагонов прямоугольной формы со сглаженными углами.

Удар поездом состава, состоящего из вагонов, движущегося с маленькой скоростью v происходит очень быстро – через доли секунды его грохот раздается уже в хвосте поезда.

Второй вагон получает толчек от первого через

$$t_1 = \Delta \frac{c}{v},$$

где зазор между вагонами составляет Δ метров.

После столкновения поезда с первым вагоном, $(n + 1)$-й от n-го – через

$$t_n = n\,\Delta \frac{c}{v},$$

т. е. толчек за t_n c распространится на расстояние $l_n = n(1 + \Delta)$.

Тогда скорость распространения толчка вдоль состава:

$$v_n = \frac{l_n}{t_n} = \frac{n(l+\Delta)v}{n\Delta} = \frac{(l+\Delta)v}{\Delta}.$$

При длине вагона $l = 10$ м, расстояние между буферами $\Delta = 0{,}05$ м, скорость паровоза $v = 0{,}5$ м/с. Скорость распространения толчка

$$v_n = \frac{(l+\Delta)v}{\Delta} = \sim \frac{vl}{\Delta} = \sim 100 \text{ м/с},$$

т. е. скорость распространения толчка больше скорости паровоза в 200 раз!

При увеличении длины вагона, скорости паровоза, налетающего на состав и уменьшении величины зазора, скорость распространения толчка может превышать световую скорость в разы и аномально выше.

Что же можно передать, например, информацию, энергию, материю, с такой же скоростью вместе с толчком или вместо толчка, т. е. силовым воздействием?

Главной функциональной формулой определения скорости передачи информации, энергии и/или материи (не света) является

$$v_n = \sim \frac{vl}{\Delta}.$$

В реальных природных условиях передача информации, энергии или/и материи со скоростью v_n (телепортация) происходит по каналам Плато – Шихирина (Plato-Shikhirin Skeleton), т. е. эфиру, и характеризуется следующим:

– длина l сфер или многогранников (по аналогии с длиной вагонов), находящихся в плотной упаковке, увеличена – числитель дроби;

– зазор Δ между сферами или многогранниками стремится к сверхминимальному размеру, т. е. $\Delta = \sim 1/\infty$ – знаменатель дроби;

– текучая среда эфир, находящаяся между сферами или многогранниками, является сверхразряженным газом – сверхвысоким вакуумом P^{-}.

То есть сопротивление при передаче информации, энергии или материи является минимальным.

Получается приятный парадокс, а точнее – природная реальность, а именно: **чем дальше находится объект для передачи информации, энергии или материи (кроме света) через другие подобные объекты плотной упаковки, и меньше расстояние между ними, тем быстрее происходит процесс ее передачи!**

К такой реальной Природной модели относится, например, структура Вселенной.

Существуют также и другие практические и теоретические задачи, приводящие к подобному результату с учетом характеристик физических явлений как перенос энергии, характеристика материала и т. п. На-

пример, это движение верхнего ножа гильотинных ножниц при резке бумаги, движение радиоволн [17] и т. п. В настоящее время это реальность, воспринимаемая как фантастика из-за силового насаждения со школьной скамьи «так называемых искусственных знаний о «теории относительности» и ее производных и т. п.

Практически ответ один – превышать скорость света невозможно. Ответы подгоняются самыми ухищренными способами, вплоть до непроведения экспериментов и т. п. Соответственно возникают парадоксальные ситуации с вычислениями скорости передачи энергии, информации и самой материи.

Передача информации, энергии и/или материи может быть двух типов:

– автоматически: ‹+›удар или ‹+›толчек («излишки»), формируется с помощью давления P^{+},

– по запросу ‹–›удар или ‹–›толчек (отсос, природная необходимость), формируется с помощью вакуума P^{-}.

Для осуществления этих процессов необходимо внедрение информационных, энергетических и/или материальных электродов в каналы Плато – Шихирина (Эфир) их раздвиганием или натягиванием их на электрод (зонд). При необходимости возможно «вживление» электрода, т. е. проникновение передающего торца электрода в канал Плато – Шихирина (Эфир) параллельно или «сквозь» толщу материала оболочки, при этом не нарушая ее целостности (герметизации).

Подобной практикой внедрения пальцев рук в тело пациента для его лечения занимаются, например, филиппинские хилеры (Philippines Healers http://www.aenet.org/philip/healers.htm) – доктора, лекари.

Лучший способ их внедрения или «вживления» – это вибрация передающей части электродов с определенной частотой на принципах технологии Cymatics http://www.cymaticsource.com [6] или «явлении синхронизации вращающихся тел (роторов)» [6].

Для приема информации, энергии и/или материи необходима приемная воронка, также внедренная или «вживленная» в каналы Плато – Шихирина (Эфир) или «сквозь» толщу материала оболочки.

Примеры из Природы: самозарывание с помощью вибрации ящериц в песок, некоторых рыб в грунт дна водоема, обезболивание действующей раны лошади путем создания вибраций в болевой зоне, недоступной животному и т. п.

Перемещение света в пространстве

Общепринято (придумано группой ученых-чиновников), что «*скорость света в вакууме – абсолютная величина скорости распространения электромагнитных волн в вакууме – фундаментальная постоянная, не зависящая от выбора инерциальной системы отсчёта. По современ-*

ным представлениям, скорость света в вакууме – предельная скорость движения частиц и распространения взаимодействий».

Автор сомневается в этой формулировке и в том, что свет – это «электромагнитная волна».

Свет – это текучая среда:

– **носителем света** являются неоткрытые пока элементы 0-й группы несфальсифицированной таблицы элементов Дмитрия Менделеева;

– с атомным весом и плотностью более, чем атомный вес и плотность Эфира (Ae) ($5{,}5 \cdot 10^{-11} – 9{,}6 \cdot 10^{-7}$, $10^{-34} – 10^{-32}$, соответственно;

обладает всеми ее функциональными особенностями, например, интерференцией, дифракцией и т. п.;

– заполняет типовые формы-линзы и -ежи под положительным или отрицательным давлением, соответственно;

– при определенных условиях имеет газовое, жидкое, твердое и аморфное состояния;

– межслойная среда плотной упаковки оболочек состоит из эфира (Ae) – 0-я группа и, возможно, из смеси элементов инертных газов (1-я группа), водорода и еще не открытых элемнтов 1-го ряда несфальсифицированной таблицы;

– известно, что торрообразная оболочка действующих галактик в основном заполнена гелием и водородом и т. п.

Поскольку любые опыты, связанные с измерением скорости света, не учитывают 3-компонентную структуру пространства, т. е. плотную упаковку оболочек-линз или оболочек-ежей, то каждый раз измерение скорости света будет различным и точным никогда не будет (рис. 8, *3*). Скорость света можно посчитать только среднюю для различных пространств наномира и бесконечно меньше и мегамира и бесконечно больше, и текучих сред от газового, жидкого, твердого и аморфного кристалла.

Не учитываются давления текучей среды в оболочке-линзе и -еже, а также в межоболочечном пространстве между ними, находящимися в плотной упаковке.

Скорость света C_{Light} = 300 000 км в секунду может и быть постоянной и непревышающей свои размеры, но при случае, когда пространство, состоящее/заполненное текучей (газовой, жидкой) средой под положительным/избыточным или отрицательным/вакуумным давлением представляется однородной газовой средой-вакуумом с одинаковыми, в том числе, оптическими характеристиками

Более того, не учитываются принципы природной структуризации ее наномира и меньше, и мегамира и больше, а именно:

- типовые формы ее существования,

- ее 3-компонентность,
- мерность и т. п.

Использование структуры пространства человеком

На рис. 9, **позиция** ***1***, показан один из примеров изменения реологических свойств текучей среды, например, «волшебного» получения из киселеобразного состава твердого или жидкого состояния без изменения температуры и давления.

Позиции *2* **и** ***3*** демонстрируют процесс одного из примеров безконтактного удара.

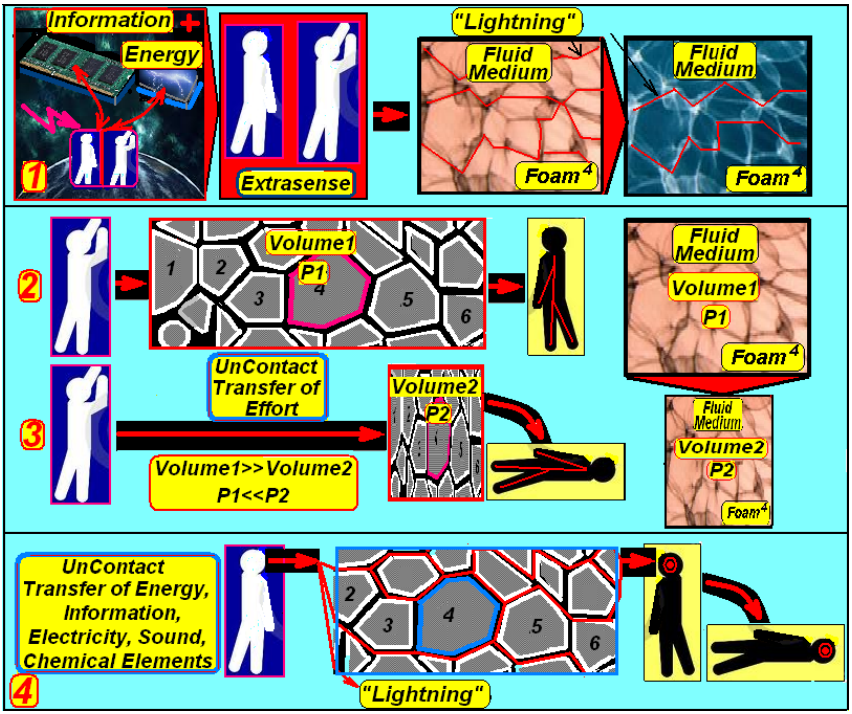


Рис. 9. Экстрасенсы и механизм работы их «дара» безконтактным физическим воздействием. Автор, немного научившись, посторил это сам

«Боец» за очень короткое время сжимает/сдавливает мягкую/эластичную оболочку или комплект оболочек в плотной упаковке

(2-я компонента текучей среды) с находящейся в ней текучей средой под избыточным давлением (3-я компонента текучей среды).

Этим действием, т. е. через сжатую текучую среду в оболочке (оболочках) как посредника, «боец» опрокидывает соперника.

Позиция *4* показывает пример перемещения энергии и/или информации по каналам Плато – Шихирина (1-я компонента текучей среды – Эфир) для управления соперником.

На этом автор прекращает рассмотрение реальных природных механизмов по причине требования к ограничению материалов доклада. Подробное дальнейшее рассмотрение очередной порции материалов будет представлено в следующих публикациях автора.

Список литературы

1. *Шихирин, В. Н.* Плотная упаковка винтовых торических, пирамидальных и сферических узловых поверхностей наномира и бесконечно меньше, мегамира и бесконечно больше, омываемых изнутри и извне Мировым (структурным) Эфиром Дмитрия Менделеева – основа существования Вселенной и Жизни // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : тр. IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 13–15 нояб. 2013). – Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – Ижевск, 2013.
2. *Шихирин, В. Н.* Разрушение атмосферы Земли. Техническое задание на проведение НИЭР «Панацея»: Создание самоподдерживающихся источников VTORTEX-энергии (генератор), движителей транспортных средств («тарелка») и сопутствующих систем для индивидуального использования, или продолжение истории с платформой Гребенникова // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : тр. 7-й Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 17–19 нояб. 2011). – Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – Ижевск, 2013.
3. *Шихирин, В. Н.* Создание источников совершенной энергии для выживания Человечества в условиях глобального изменения климата на Земле – космической фазой его похолодания // Торовые технологии : материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. (Иркутск, 24 окт. 2007). Иркутск : Иркут. гос. техн. ун-т, 2007. – С. 3–28.
4. *Tesla, Nikola.* Lectures•Patents•Articles. Published by Nikola Tesla Museum. – Beograd, Yugoslavia. – Beograd, 1956.
5. *Менделеев, Д. И.* Попытка химического понимания Мирового Эфира // Вестник и библиотека самообразования. – 1903. – № 1–4. – [несфальсифицир. издание].
6. *Менделеев, Д. И.* (Периодический закон химических элементов). Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве // Основы химии. – 1869 г. 1 марта.
7. *Меншуткин, Б. Н.* Д. И. Менделеев и новейшее развитие преиодического закона. IX. Современная периодическая система элементов и гипотеза Про-

ута, [сфальсифицир. издание] / Периодический закон под ред. и со статьей о современном положении периодического закона Б. Н. Меншуткина. – Гос. изд-во «Москва – Ленинград». – 1926. – С. 245.

8. *Шихирин, В. Н.* Синергетика Вселенной как природного совершенного самоподдерживающегося механизма. Первое приближение // Торовые технологии : сб. материалов 5-й Междунар. науч.-практ. конф. (Иркутск, 23, 24 окт. 2008 г.). – Иркутск : Иркут. гос. техн. ун-т, 2008. – С. 22 – 54.

9. *Shikhirin, Valeriy.* Earth Atmosphere and its Destruction. Mars's and Saturn's Atmosphere Structure : Part 9. (March 2012), animation. – URL: http://youtube.com/user/elastoneering

10. *Гольдфарб, В. И.* Проектирование эвольвентных цилиндрических передач. Новый подход : моногр. / В. И. Гольдфарб, А. А. Ткачев. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2004. – 96 с.

11. *Чижевский, А. Л.* На берегу Вселенной. Годы дружбы с Циолковским. Воспоминания. – М. : Мысль, 1995. – С. 412, 414, 422.

12. *Правдивцев*, *В. Л.* Тайные технологии. – Кн. 1 Биосферное и геосферное оружие». – М., 2012. – 336.

13. *Гребенников, Виктор.* Секрет гнездовий одиноких пчел // Пчеловодство. – 1984. – № 12. – С. 28, 29.

14. *Гребенников*, *Виктор.* Секрет пчелиного гнезда. Телепатия и экстрасенсорные способности с точки зрения физики // Движение Тигель. – URL: http://centercep.ru/stati/12-chelovecheskie-vozmozhnosti/142-sekret-pchelinogo-gnezda-telepatiya-i-ekstrasensornye-sposobnosti-s-tochki-zreniya-fiziki.html

15. *Lim, T. T.* Vortex Ring University of Melbourne. – Australia, 1993.

16. *By miss Betts*, *Annie D.* B.Sc. The Structure of Comb. The Bee World. – July, 1921. – P. 37–38.

17. *Маковецкий, П. В.* Смотри в корень! Сборник любопытных задач и вопросов. – 3-е изд., исправ. и доп. – М. : Наука, 1976. – URL: http://n-t.ru/ri/mk/sk044.htm

18. *Керлерр*, *И.* О шестиугольных снежинках. – М. : Наука, 1983.

УДК 629.7.03

В. Н. Шихирин, Ph.D
E-mail: info@elastoneering.com
Президент компании «Elastoneering, Inc.», США, г. Чикаго
Председатель американской секции Русского физического общества, г. Чикаго

Принципы перемещения транспортных средств с эфирными движителями в условиях Мирового (структурного) Эфира Дмитрия Менделеева

Введение

«Мне достаточно, чтобы мои работы прочитал хотябы один человек – Платон или Архимед!». Автор

"Looking at the number of viewers and the lack of any comments, it is clear than mankind in general does not posses sufficient intellect to understand the concept of 'elastic engineering' – and those that do have very long necks, and stick their heads in the sand.

The ostrich reaction to danger! I know why you do it Dr. Shikhirin – ***but sadly you cast your pearls before the swine****.*

Thank you for your most enlightening work"

Only alone comment during 3 years for
https://www.youtube.com/watch?v=fjxLJh-WBhg

«*Следуй своей дорогой, и пусть люди говорят что угодно».* Данте

Автор категорически против использования в научных источниках выдуманных индексов Хирша – h-index, цитирования – SCI, импакт-факторов – IF, и т. п., поскольку:

– эта показуха необходима для искусственной рекламы неработающих ученых-чиновников-паразитов-начальников и показывает их полную импотентность;

– сформированный труд «ученого» таким способом выравнивается его соавторством, а иногда явно принижается по отношению с работой настоящего ученого-инженера-исследователя и т. п.

Очередной трагической и недопустимой научной и технологической «ошибкой», под которой подразумевается специально созданное ложное, но в тоже время граничащее с безумно смелым и нетрадиционным подходом направление во главе с гением для освоения бюджета тандемом «чиновник – лжеученый», было **создание эксплозийных и импло-**

© Шихирин В. Н., 2015

зийных источников энергии, включая их использование в движителях транспортных средств, формируемых при управляемом горении/разложении углеводородного или/и атомного топлива – «энергии первобытного костра, с доминирующим использованием в подводном, надводном, воздушном и космическом транспорте в условиях суммы (по модулю) сил гравитации и левитации:

- земной гравитации – вакуумная камера в виде звездчатого икосаэдра с силой отрицательного давлениея F_{Vacuum}= ~10^{-6} –10^{-10}*Pa.* Земля или любая планета или звезда – это ***винтовая*** **сферическая узловая замкнутая поверхность (3;2)**;
- солнечной системы гравитации $F_{SolarSystem}$ – «суммы» электростатических зарядов планет, звездного вещества (пояса астероидов, кометы, метеориты и т. п.) и Солнца: принцип взаимодействующей силы электростатического притяжения $F_{SolarSystem} = (q_{Earth} \bullet Nq_{SolarSystem})/r^2_{SolarSystem}$, где $r_{SolarSystem}$ – расстояния (специальная формула) от Земли до Солнца, планет и звездного вещества.

Солнечная или любая звездная система это «дерево» орбит планет – винтовая цилиндрическая узловая поверхность, как ствол «дерева» планет, состоящего из комплекта наложенных/вложенных друг на/в друга винтовых цилиндрических узловых поверхностей, ребрами которых являются орбиты *N* планет или *N(m;n)*, включая их спутники, где *m* – количество полных оборотов вокруг солнечной оси; а *n* – величина электростатического заряда. При этом зная, что скорости поступательного перемещения Сонца и планет имеют одинаковую величину. Закон перемещения планет солнечной системы задается станом поперечно-винтовой прокатки планет – центральной частью любой действующей галактики-VTortex ($3n_p$;2);

- галактической гравитации и левитации *P* – суммы модулей давлений (конус***а*** давлений), создаваемых эксплозийным выворачивающимся торцом Галактики-тора P^+ и имплозийным наволакивающимся торцом Галактики P^-: $P=|P^+|+|P^-|$ торцов. Любая действующая галактика это ***винтовая*** **тороидальная узловая замкнутая поверхность** ***($3n_p$;2)*** [1].

«Валерий! Главное, чтобы на любое планируемое тобою дело в твоей жизни у тебя был план», моя бабушка по маминой линии (с. Июльское Воткинского района).

1. AetherTronics Technologies™

Задачами **автора и K⁰**, являются:

1) **1869–2015, USA:** Унификация и типизация «**Aether Technologies**», **созданных** Дмитрием Менделеевым, Николой Теслой, Виктором Шаубергером, Виктором Гребенниковым, Анатолием Акимовым,

автором и К^{O} и др. «**Aether Technologies» работают в земных и космических условиях, включая одновременность их работы**;

2) **1989–2017, USA:** Проведение НИОКР по созданию пакета **«AetherTronics Technologies^{TM}»**, включающих Hard- и Soft-Ware;

3) **2014–2020, USA:** Проведение НИОКР по созданию объединенного комплекса **«Aether Technologies» и AetherTronics Technologies^{TM};**

4) **2015–2017, USA, Ukraine и Russia –** при условии **слезания с «*нефтяной иглы*» и перехода к «*экономике мозгов*»:** проведение НИОКР по созданию типоразмерного ряда эфирных индивидуальных и групповых транспортных систем для условий гидросферы, атмосферы, ближнего и дальнего космоса [2] .

Исследования автора [3, 4] показывают, что это способны сделать только «чистый» **американский, русский и украинский социумы, исключая элиту**. Следует помнить, что американский научно-технический социум минимум на половину состоит из представителей русского и украинскго социума, исключая специалистов IT-технологий, которые к Природе не имеют никакого отношения и останутся на уровне не более 3 % использования населением. Помню, в детстве начало 50-х годов) было много ремесленных училищ по различным направлениеям мехобработки и т. п., это был самый низ любой профессии – простой рабочий у станка. Их называли ремесленниками. То же самое и сейчас, а именно: все Hard&Soft-Ware-специалисты сегодня это IT-ремесленники.

Hard-Ware

Частично принципы конструкторско-технологических вариантов космического аппарата с эфирным движителем описаны автором в работах [1–4], **но это не главное**. Автор доказал, что ***капиллярный эффект, процессы испарения, диффузии, образования капель росы и тумана, осмоса в капиллярах, сообщающихся сосудов, формирование запахов и их интенсивности, высыхание, гниение, изменение температуры и давления и т. п. исследованы некорректно и в Природе не работают***.

Любой материал, используемый в космическом аппарате в земных, а особенно в космических условиях, «подчиняясь» законам структуризации в Природе, по запросу из КИБ или при технологической природной необходимости **может бесконтрольно с помощью сверхтонких капилляров, т. е. $d_{Capillare} \rightarrow 1/\infty$**:

а) набирать/всасывать из космической интеллектуальной базы (КИБ) с изменяющейся плотностью, температурой, давлением и в неограниченных количествах необходимые химические элементы, их соединения с сжимающим их извне и распирающим их изнутри нехимическим элементом Эфир [1];

Эфир – *Aether, Ae – 0-й ряд и 0-я группа несфальсифицированной таблицы элементов Дмитрия Менделеева, атомный вес в пределах* $5{,}3 \cdot 10^{-11}$ \–$9{,}6 \cdot 10^{-7}$ *(г/моль), плотность в пределах* 10^{-34}–10^{-32}.

Кроме элемента Эфир (Ae) важнейшими химическими элементами являются инертные (**нейтральные, благородные**) газы, формирующие Свет, Цвет, мягкую/эластичную прослойку или оболочку групп химических элементов и т. п.

Коренным (вычеркнутым) инертным газом является Короний (Koroniy, Ko) – 1-й ряд и 0-я группа также из несфальсифицированной таблицы элементов Дмитрия Менделеева, атомный вес 0,4 г/моль [1];

б) выталкивать/эвакуировать в космическую интеллектуальную базу (КИБ) с изменяющейся плотностью, температурой, давлением... далее по пункту а).

Поэтому существует необходимость формирования определенной защиты от разрушения – разборки/сборки «по атомам и молекулам» практически всех сопрягаемых и несопрягаемых деталей, выполненных из различных материалов, включая материалы Soft-Ware.

Необходимо *исключить возможность* отрицательного *воздействия формы – кристаллической решетки*, или протечки сквозь нее эфира, а значит нестабильной активации, развития и работы самоподдерживающегося вихря – тора-VTortex, нормальный режим работы которого подчиняется правильному управлению его «точкой» гармонии – резонанса комплекта природных структуризаторов.

Основными способами защиты от разрушения атомно/молекулярной структуры материала эфиром и использование его самого являются:

- его идентификация среди инертных газов, поскольку этот нехимический элемент не имеет запаха и цвета, но определенным образом распределяется и концентрируется в структуре окружающего пространства [1];
- аморфизация всех материалов движителей, выполненная различными технологическими методами, зная, что все поверхности (и кривые) формируются из винтовой торической узловой замкнутой поверхности. Например, старинными и современными типовыми технологическими процессами обработки металлов (расплавов) являются прокатка, волочение, ковка, прессование, штамповка и т. п. для получения *колоколов, тарелок для ударных инструментов, сосудов* т. п., обладающих «необыкновенными» свойствами, а также формирование структуры материалов торсионными генераторами [1, 5–7];
- его стягивание и удерживание в центральной части или на периферии корпусных деталей, поскольку он обладает «сильно развитой проницаемостью, что проходит через любые оболочки»;

- группирование элементов эфира для его укрупнения, увеличения плотности, и наоборот, разуплотнения и т. п.;
- создание условий и образование из него управляемого самоподдерживающегося тора/VTortex путем всасывания из внешней среды имплозийного комплекта **материи, энергии, информации и календарного времени их структуризации во Вселенском времени ($MEIT_{Calendar}/T_{Universe}$)**;
- использование эфира как пограничного и/или защитного слоя и т. п.

Основными командными ключевыми деталями являются винтовые, торообразные, сферообразные, пирамидальные узловые замкнутые поверхности с едиными параметрами, переходящими от одного типа (от более простого к сложному и наоборот) поверхности к другому [1], например, единый параметр ($3n_p$;2), где $3n_p$ – количество мередианных витков, а 2 – количество долготных витков (винтовые параллели) (рис. 1)

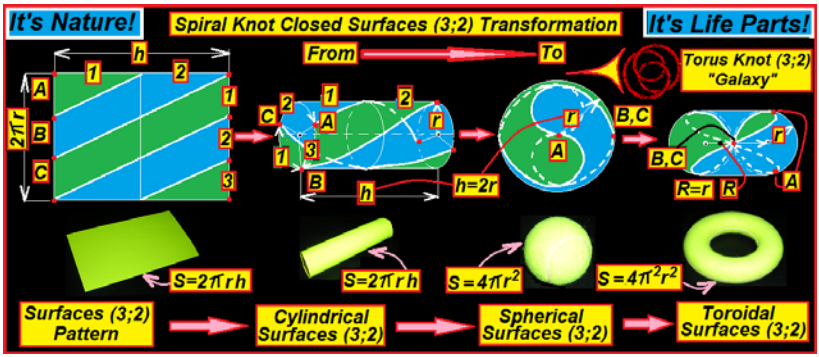


Рис. 1. Топологическое/природное преобразование винтовой замкнутой цилиндрической узловой замкнутой поверхности в винтовые сферическую узловую и тороидальную узловую замкнутые поверхности с неизменными узловыми параметрами

Деталями являются:

- корпуса, камеры «сгорания» – камера для модификации эфира (Ae);
- камеры, ниши, полости и т. п. для создания структурированных потоков текучего вещества – эфира в комплекте с инертными газами, в первую очередь с коронием (Ko);
- трубчатые поверхности стока и подъема текучего вещества VTortices- формы;
- лопатки турбин и т. п.

Soft-Ware

«Не теряй время!
Используй только арифметику, геометрию и топологию!». Автор

Прелюдия. Традиционные системы управления на основе радиоэлектроники для эфирных систем, включая транспортные, не подходят, поскольку они не будут работать даже в атмосфере Земли. Оставшиеся 85–90 % атмосферы не разжижаются, а структуризируются в меньшее количество ячеек-торов [2], оголяя при этом широты – 60^0–90^0N/S, и временные локальные участки земной поверхности (пожары, 2010 г.).

Например, в широтах 50–70^0N, на которых расположены практически все населенные пункты России или проживает более 70 % населения, практически отсутствует атмосферная Северная Полярная ячейка-тор – 60–90^0N и северная часть атмосферной ячейки-тора Ферреля – 30–60^0N. Результатом отсутствия атмосферной защиты от космического излучения, что было видно «невооруженным глазом», явились пожары летом 2010 года и «засыхание» огромного количества хвойных пород деревьев, некоторых видов лиственных пород и гибели пчел, включая и западное полушарие.

Например, «обдуву» космическим излучением подвеглись территории, расположенные между двумя основными железнодорожными системами России:

1) северная ветка – Санкт-Перегбург, Вологда, Киров, Пермь, Екатеринбург, Тюмень, Омск, Новосибирск, ..., Иркутск, ...;

2) южная ветка – Смоленск, Москва, Рязань, Казань, Ижевск, Екатеринбург;

3) далее северная ветка соединяется с южной.

В западном полушарии населенных пунктов практически нет. По мнению автора, результатом воздействия космического излучения на растительный и животный мир будет его тотальное вымирание и заболевание раковыми болезнями, включая человека (капиллярный эффект).

Одним из проявлений результатов космического излучения будет нарушение или блокировка работы всех радиоэлектронных систем, включая средства связи.

Более того, на основе *мощной интуиции, природных и оккультных знаний, опыте и «крыльях интерполяции и экстраполяции»* автор считает неизбежным в течение 2015 года возможного начала 3-й мировой (атомной) войны, что, кроме всех известных ее «прелестей», приведет:

- к увеличению щели в вакуумной камере планеты;
- дополнительному всасыванию в нее от 20–40 % атмосферы;
- уменьшения в разы сил тяготения ($g = 9{,}8$ м/сек^2→2–3 м/сек^2);
- всплыванию по закону Архимеда поверхностного слоя, $h = \sim 5$–7 км;

- последующего самовзрыва планеты (рис. 2);
- гибели 20–40 % человечества вместе с элитой от удушья и вскипания текучей среды в растительном и животном мире (как гибель космонавтов или альпинистов на высотах более 3–4 км, и т. п.

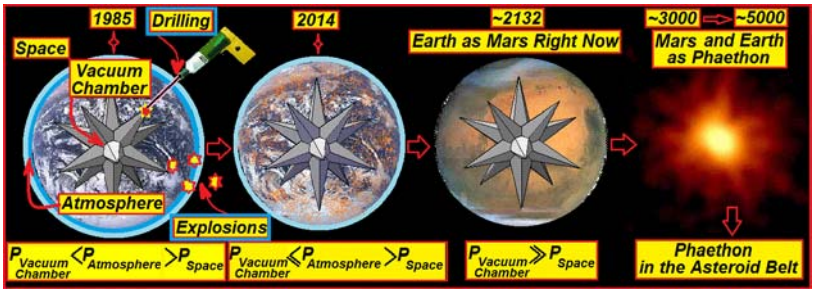


Рис. 2. Свершившаяся судьба нашей планеты Земля благодаря элите человечества

Также были или будут разрушены элитой предыдущие и настоящее места жительства человечества – Фаэтон, Марс и Земля, соответственно.

Существует определенный природный баланс «между 3 давлениями», т. е. $\boldsymbol{P_{Earth}}<P_{Atmosphere}>P_{Spase}$ или $(1\cdot10^{-6}\rightarrow1\cdot10^{-10})Pa<1{,}013\cdot10^{+5}Pa>(1\cdot10^{-10}\rightarrow 1\cdot10^{-16})Pa$, в котором атмосфера играет роль мягкой/эластичной оболочки, заполненной текучей средой под избыточным давлением $1{,}013\cdot10^{+5}$Pa (760 мм рт. ст.), а в ней находится другая оболочка – вакуумная камера, заполненная текучей средой под отрицательным давлением $(1\cdot10^{-6}\rightarrow1\cdot10^{-10})Pa$.

По экспертным расчетам автора при дальнейшем всасывании атмосферы (2014) в вакуумную камеру Земли произойдет (2132) выравнивание «бывшего» **положительного** атмосферного давления и **отрицательного** давления в вакуумной камере планеты. Этот процесс приведет к резкому увеличению давления в вакуумной камере Земли по сравнению с неизменившемся давлением в космосе. Баланс 3 давлений будет нарушен. Более того, отрицательное давление в вакуумной камере планеты, играющее роль гравитационного центра или центра тяжести, не будет играть роль стягивающего центра всего земного вещества, а планета от такого перепада давлений взорвется.

Итак, далеким прототипом Soft-Ware of the AetherTronics Technologies™ является **«Пневмоника» (Pneumonics)** [8, 9], только вместо хаотичных по структуре газовых струй в функциональных схемах применяются структурные природные винтовые/спиральные тороидаль-

ные, сферические и пирамидальные узловые замкнутые (топология) поверхности с параметрами *(p; q; m; n;* π_1; π_1; π_2; π_3; ..., π_N*),* где *p; q* – узловые параметры (рис. 3)*, m; n* – пары чисел Фибоначчи, формирующие Филлотаксис-процесс, несколько десятков функциональных π для одного эфирного процесса, например, поток Шаубергера, или разряд Теслы, параметры «красок» и т. п.

В 60-х годах это направление схемотехники было весьма популярным, однако вскоре было вытеснено полупроводниковой электроникой с соответствующими кадрами, и зря!

Это была очередная крупная ошибка, совершенная научной и инженерной элитой человечества.

Основой в **Soft-Ware** в **AetherTronics** является **самоподдерживающийся вихрь или VTortex, который является одновременно «да» и «нет» с управляемыми значениями, из которых формируются все дискретные и аналоговые элементы, включая абсолютно новые и с новыми функциональными особенностями.**

Автор располагает самыми различными дискретными и аналоговыми схемами, и работающими моделями **VTortexTronics**-приборов – цифровые и счетные устройства, сенсоры, усилители сигналов, измерители температуры, давления, времени, гироскопы, акселерометры, различные виды памяти.

Например, тор или **VTortex/Atom является тригером, диодом, усилителем и т. п.**, включая их функциональную одновременность работы, а системы с сформированными группами **VTortex/Atom, т. е. VTortices/Molecule**, являются различными известными устройствами, а также устройствами, которые на современных электронных элементах невозможно создать традиционными методами.

В отличие от любых радиоэлектронных технологий в составе любой компановки из **VTortexTronics**-приборов имеется одноразовый активатор (батарейка, акуммулятор) типовых структурированных самоподдерживающихся вихрей-торов-**VTortices**, которые активируются, могут храниться в рабочем состянии во всех видах памяти, и работать необходимое или неограниченное количество времени.

Итак, **Soft-Ware of the AetherTronics™** (создатель автор) **– новая технология формирования систем управления на основе структурированных вихревых элементах из эфира, которые:**

- не поддаются подавлению примитивной силовой электроникой (радиоэлектронная борьба) и космическим излучением;
- работают при перегрузках и вибрациях, в условиях радиации; в широком диапазоне температур, где применение полупроводниковых приборов неприемлемо!

- не имеют подвижных частей;
- просты в изготовлении и эксплуатации, имеют малую стоимость;
- потребляют энергию, необходимую только для активации **VTortices** и составляет разовую порцию – сотую долю ватта и т. п.;
- принципом действия работы таких индивидуальных или групповых переносных или стационарных систем является управляемое дистанционное торсионное деформирование компонент пространства без разрушения их топологии и структуры.
- результатом такого деформирования является, например, управляемое мерцающее/колыхающееся пространство, через которое происходит связь сенсора с приемным устройством, т. е. происходит частичная или полная потеря связи.

2. Принципы перемещения космических аппаратов в условиях Мирового структурного Эфира и 4-мерного пространства 4D

Это, на первый взгляд, фантастическая и невероятная картина, а автор – сошедший с ума человек. С другой стороны, на этом процессе построено бесконечное количество самоподдерживающихся процессов в Природе, на которых построена Жизнь!

Чего только стоит «необъяснимый», исключая автора [1], процесс подъема на более чем 100 метров тысяч тонн питательных веществ в течении 3–4 тысяч лет или определенное количество материи, энергии, информации за определенное календарное время во вселенском времени ($MEIT_{Calendar}/T_{Universe}$) существования эвкалиптов, секвой и т. п.

Перемещение эфирного движителя формируется:

1) неотталкиванием от текучей среды или ее захватыванием **примитивными винтами и крыльями;**

2) неперемещением бочки-ракеты с подожженным в ней топливом, как проткнутого надутого шарика.

Чтобы понять, как перемещается в структурном эфире эфирный космический аппратат (!) необходимо показать, что такое структурный эфир! Его структура идентична структуре текучей среды в Природе, тоесть это 3-компонентная структура, в частности, газа со сверхнизкой плотностью, находящегося в 4-мерном Фуллеровом пространстве Вселенной.

Вот некоторые VTortexTronics-блоки в составе управления «тарелки»:

- **выделение эфира – неразряженного и «неразбавленного» эфира (газ) со сверхмалой плотностью – из смеси инертных газов, которые находятся в межоболочковом пространстве или каналах Плато-Шихирина;**

- выделение эфира и нескольких необходимых инертных газов, например, корония (Ко) для получения рабочей смеси;
- *концентрация и сжатие эфира;*
- *формирование функциональных π – природных структуризаторов (центробежное, центростремительное, продольное, поперечное и т. п.) для одновременного формирования левитационных и гравитационных процессов и, как результат, появление поступательно-вращательных движений относительно независимых осей в пространстве для решения различных задач, например, управляемого перемещения в заданных направлениях и режимах (Филлотаксис-процесс), или экономичного отбора энергии.*

Если «скорость истечения продуктов сгорания» на принципе разрушения и выталкивания рабочей текучей среды из сопла двигателя может находиться в пределах:

- *у электрического двигателя от 1 км/сек до 97 км/сек,*
- *у фотонного двигателя до 300 000 км/сек («скорость света»).*

То у эфирного движителя с ненужным соплом скорость его перемещения может быть в сотни-тысячи раз больше за счет создания, например, впереди себя зоны со сверхотрицательным давлением, куда он (движитель) сам себя втягивает. Необходимо помнить, что перемещение эфирного движителя происходит в эфирных каналах Плато – Шихирина, которые он сам для себя раздвигает/натягивает, например, перемещение $MEIT_{Calendar}/T_{Universe}$ *от одного торнадо к другому или к земле – молнии, или энергия-молнии Теслы.*

Это направление исследований для скорейшего использования представителями лучшей части человечества автор активно проводит сам и предлагает в первую очередь представителям различных социумов, рассредоточенных на широтах 45–60^{0}N/30–60^{0}E, которые способны осилить это направление.

Автор, пока единолично, владеет теоретической/природной, а не просто подгонкой теории под практику, работает автономно без привлечения начальников-спонсоров и их финансовых средств.

Имеется серия аналогов «летающих дисков» (Flying Disc), созданных в 1943–1945 годах в Германии при непосредственном участии Виктора Шаубергера (Dr. Viktor Schauberger, 1885–1958), например,

- “Schriever-Habermohl”;
- “Ballenzo-Schriever”;
- “Flying Saucers” и др.

Эти аппараты поднимались вертикально до 12 км в высоту за 3,12 мин и имели горизонтальную скорость порядка 2000 км/час в водно-воздушном пространстве на вихревой тяге – на самоподдерживающемся водно-воздушном вихре-торнадо, который формирует гравитационные и левитационные силы в герметичной или негерметичной камере

Подобные аппараты для условий атмосферы также создаются автором и его коллегами из других стран [10].

Как приходит «энергия» из внешней среды?

Все эти процессы могут появиться только при совпадении определенных условий и в определенные промежутки времени, т. е. это «господин случай и некоторые обстоятельства».

Известно, что абсолютно каждый растительный и животный организм в Природе рождается/активируется, развивается и умирает/дезактивируется по одной стандартной схеме, независимо от способа размножения: бесполое – участвует один организм, и половое – участвует два организма. В любом из этих способов появляется новый организм, который как и старый(ые) организм(ы) **не является носителем генетической или наследственной информации**, поскольку вся наследственная или генетическая информация, а это определенное количество материи, энергии, информации за определенное календарное время во вселенском времени ($MEIT_{Calendar}/T_{Universe}$), находится в космической интеллектуальной базе (КИБ) и в ждущем режиме соединена двухсторонней капиллярной трассой, где капилляр имеет диаметр, стремящийся к $1/\infty$, что обеспечивает скорость передачи $MEIT_{Calendar}/T_{Universe}$, стремящейся к ∞.

Исследования, проведенные автором [11] по сравнению химического состава пищи, поступающего в организм, и самого организма, показывает их **существенное несовпадение по важнейшим ключевым элементам**, которые отсутствуют в пище и присутствуют в составе организма.

Следует знать, что, например, **семечко яблони не является носителем ее генетической или наследственной информации**. Семечко/зернышко является активатором начального момента времени роста яблони при определенных условиях – температура, влажность и т. п., начальный пакет $\mathbf{MEIT_{Calendar}/T_{Universe}}$, которой мгновенно по капиллярам уходит в космическую интеллектуальную базу (КИБ). Сразу после этого из КИБ начинает поступать непрерывно $\mathbf{MEIT_{Calendar}/T_{Universe}}$ для развития растения.

При этом:

- обязательно должен быть вихревой процесс, чтобы могли возникнуть условия для появления соответствующих «генетических» параметров, например, филлотаксисный параметр яблони «расхождение листь-

ев» должен быть (2;5), а не (3;8), поскольку тогда вместо яблони (груши или смородины) и т. п. вырастет капуста/редька/лен и т. п., соответственно, хотя в обоих случаях пропоции фибоначчиевых чисел соблюдаются;

- угловая скорость активации процесса должна быть доведена до **определенной, стандартной для Природы**, скорости появления и дальнейшего существования «самоподдерживающегося процесса»;
- количество и плотность $MEIT_{Calendar}/T_{Universe}$ должны соответствовать пропускной способности капилляров, трассирующих в КИБ, и т. п.

Следут помнить, что в момент зарождения самоподдерживающегося режима, даже малой мощности, обязательно возникают:

- световое – голубое свечение, гудение, пощелкивание;
- разряды электирического тока, а значит – магнитные процессы;
- структуризированные вибрирующие термические холодные или/и теплые потоки повышенной плотности, контрастнее ощущаемые более тактильно оснащенными подушечками пальцев и т. п.;
- левитация – поднимание и парение легких предметов над «процессом»;
- гравитация – прилипание легких предметов «под процессом»;
- другие малоизученные являния, включая опасные для жизни, и т. п.

Более подробно об этих процессах можно узнать из первоисточников [12, 13], поскольку автор просто повторил эти опыты, включая элементы технологий структуризации, открытых им, и получил дополнительные особенности со своих тестовых испытаний с фиксацией других, предсказуемых в этих процессах, явлениях.

Фактически аналогами этих аппаратов являются транспортные средства, на которых перемещаются знаменитые русская женщина Баба-Яга и немецко-русский барон Мюнхгаузен. Это важнейшая характеристика представителей русского социума.

Поэтому только при понимании принципов «завязи» самоподдерживающегося процесса можно приступать к созданию эфирного движителя, параллельно изучая, как будет происходить перемещение такого аппарата в пространстве, включая космос, т. е. среду с отрицательным давлением от $1 \cdot 10^{-4}$Па→$3 \cdot 10^{-15}$Па, имеющую 3-компонентную структуру, плюс Эфир (Ае).

И только после начала действия самоподдерживающегося процесса возникает **самоопорное** или **безопорное** перемещение **в любой текучей среде, включая эфир,** *само-* **(втягиванием/всасыванием/засасыванием) в создаваемую этим же движителем полость с более низким давлением или/и одновременным выталкиванием/эвакуацией раздвигаемой**

этим же движителем среде. Причем силы втягивания и выталкивания складываются по модулю.

Этот процесс можно посмотреть на примере «дымового кольца курильщика» на рис. 3 с последующим объяснением. Любой вихрь (VTortex), сформированный из текучей среды и работающий в текучей среде наномира и бесконечно меньше, мегамира и бесконечно больше, имеют одинаковые функциональные особенности, например, короткий кольцевой вихрь – открытый или закрытый тор, и «длинный» торнадо – вырожденный тор/тороид

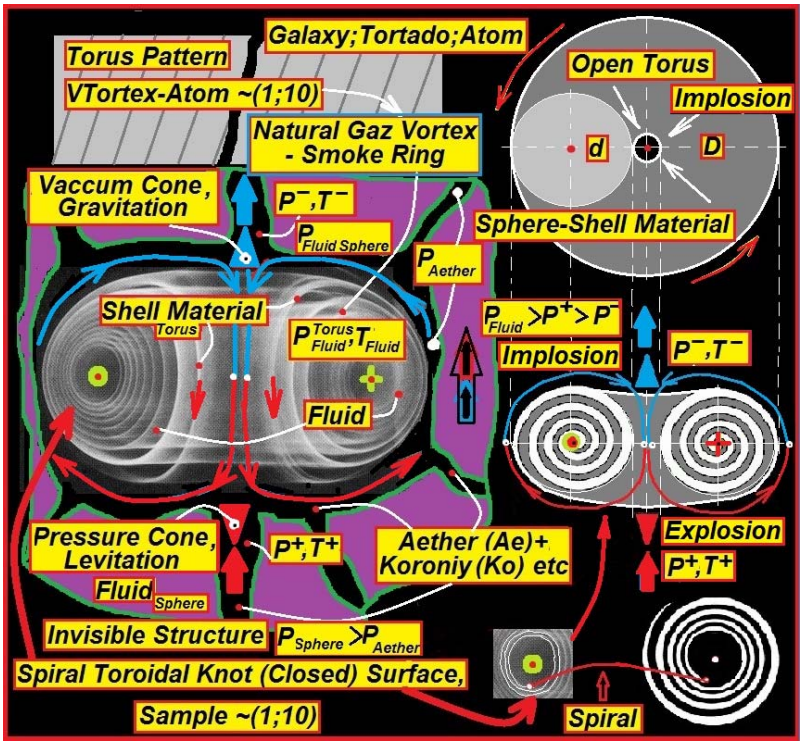


Рис. 3. Структура самоподдерживающегося вихря-тора на примере кольцевого вихря (кольца курильщика, дымового кольца)

Рассматривая структуру кольца курильщика, представленного на фотографии из [14] и дополняя ее графическими и текстовыми пояснениями, автор, уже имея знания о нескольких структурах тора, впервые открытых им в 2005 году и т. п., заметил такую же невидимую структуру-

моток из единой винтовой торической, узловой, замкнутой поверхности в кольце курильщика, а именно:

- четко видно, что левая половина контрастнее правой. Это говорит о том, что в момент фотографирования кольцо-тор не только поступательно перемещалось вверх выворачиванием/наволакивалакиванием, но и вращалось против часовой стрелки, левая часть кольца перемещалась на наблюдателя, а правая – от наблюдателя;
- структура тора представляет из себя винтовую торообразную узловую замкнутую поверхность с узловыми параметрами примерно (1;10), т. е. один виток по параллели и десять витков по мередиану.

На этой реальной природной фотографии, которая может представлять не только структуру дымового кольца в «домашних» земных условиях, но и такую же структуру галактики и бесконечно больше $+\infty$, но и торнадо, атома и бесконечно меньше $1/+\infty$.

Необходимо помнить, что «минус бесконечность» ($-\infty$) в Природе не существует. Эта «величина» существует только в воображении лжематематиков, использующих ее в несуществующем пространстве, времени и т.п. и сразу закладывающих ошибку и неправильный результат, соответственно.

«Силовым» источником перемещения тора в каналах Плато-Шихирина и для последующего его преобразования в энергию или движение является результирующая и управляемая сумма двух давлений/сил по модулю ($\sum = /P^{+}/ + /P^{-}/$), а именно:

1) отрицательного/гравитационного – конус отрицательного давления P^{-}, который «тащит/вытаскивает» эфирный движитель за собой, втягивает в воронку отрицательного давления;

2) положительного/левитационного – конус положительного давления P^{+}, который «толкает/проталкивает» движитель перед собой, формируясь эксплозийным/выворачивающимся хвостом.

То есть складываются две силы:

1) P^{-} – толкающая/проталкивающая в канале Плато – Шихирина движитель перед собой;

2) P^{+} – тащащая/вытаскивающая в канале Плато – Шихирина движитель за собой.

Возможны следущие варинты перемещения такого движителя:

1) перемещение вперед, когда $\sum = |P^{+}| + |P^{-}| > 0$, при этом

а) $|P^{+}| = 0$, *а* $|P^{-}| \neq 0$,

б) $|P^{-}| = 0$, *а* $|P^{+}| \neq 0$,

с) $|P^{-}| \neq 0$ *и* $|P^{+}| \neq 0$;

2) перемещение отсутствует, когда $\sum = |P^{+}| + |P^{-}| = 0$;

3) перемещение назад (*Revers*) осуществляется только при «переворачивании» вихря на 180^{0}.

Эфирный движитель перемещается по Эфиру (каналам Плато – Шихирина), при этом может быть три варианта поступательного перемещения выворачиванием/наволакиванием в плотной упаковке оболочек-сфер:

1) оболочки раздвигаются и захлопываются за движителем, не разрушаясь;

2) оболочки разрушаются, мгновенно образуя плотную упаковку из других образовавшихся оболочек, которые захлопываются/схлопываются за движителем;

3) движитель упирается в оболочку(и) и стоит/буксует на месте.

Для перемещения до будущей Земли – планеты Анна, на основе знаний, опыта, интуиции и «крыльев интерполяции и экстраполяции» необходимо иметь эмиграционные навигационные карты-трассы, открытые автором.

Зная природные технологии структуризации пространства мегамира, т. е. законов образования групп вихрей-галактик, включая нашу Галактику, автор имеет представление, как добраться до пункта назначения только с помощью эфирного движителя.

По мнению и расчетам автора имеется несколько оптимальных эмиграционных путей, выбор которых связан с ограничением времени на подготовку к эмиграции на другую планету, например:

- 1-й рукав/ветвь/валок нашей Галактики, в котором находится Солнечная система. Перемещение будет присходить против его течения в направлении к более теплому месту, т. е. к балджу;
- 2-й рукав/ветвь/валок нашей Галактики будет использован в случае уже использования этой планеты другой цивилизацией. Тогда необходимо переместиться во 2-й рукав/ветвь/валок нашей Галактики, идентичный 1-му рукаву, где находится, возможно, незанятая планета-близнец Земли;
- 2-я галактика в группе вихрей, состоящей всего из 2 галактик. Это наша Галактика «Млечный путь» и галактика «Туманность Андромеды», перемещение по периферии которой возможно, как в 1-м, так и во 2-м рукаве/ветви/валке.

Специально для этих целей автор с 2008 года создает «Некоммерческий фонд ускоренной глобальной космической эмиграции на другую планету» в Чикаго, оснащаемый **эфирным** телескопом, принцип действия которого заключается в передаче комплекта **$MEIT_{Calendar}/T_{Universe}$ по эфирным каналам Плато – Шихирина – ломаной линии (молния)**.

Куст международных структур, созданных и управляемых автором, для решения задач спасения «семени человечества» *по Константину Циолковскому*:

1) Elastoneering, Inc, Chicago – создание эфирных систем, включая транспорт для перемещения в дальнем космосе, создана в 2003 г.;

2) American Branch of the Russian Phisical Sosiety at Chicago – независимая природная идеология в Естествознании, включая «стыки наук» и математику (арифметика, геометрия, топология), создана в 2014 г.;

3) Non-Commertial Fund of the Forsed Global Space Emigration – накопление и освоение негосударственных нейтральных финансовых средств для решения задач 1-й и 2-й структурой, создан в 2007 г.

3. Перемещение материи в условиях гравитации и атмосферы Законы Архимеда и его «модернизация»

Занимаясь исследованиями с 1992 года в области торовых технологий, автор разработал, а Татьяна Шихирина (Tatyana Shikhirina) изготовила сотни цилиндрических, конусообразных и других эластичных/мягких тороидов для машин и механизмов различного функционального назначения.

Размеры тороидов были от десятков сантиметров до нескольких метров в различных отношениях их длины и диаметра, они были выполнены из тонких эластичных и/или мягких конструкционных материалов, в том числе интеллектуальных.

При этом техническими средствами для заполнения их текучей средой под избыточным давлением использовались воздуходувки, пылесосы, насосы, компрессоры, газогенераторы и т. п. для следущих функций:

– простое заполнение тороидов текучей средой,

– как «рабочее тело», например, для заполнения текучей средой конусообразных тороидов для придания им силовых функций, т. е. при их выворачивании и автоматическом перемещении от меньшего к большему диаметру,

– пневмотранспорт, где роль движителя предмета перемещения был тор и т. п.

С целью ускорения откачивания из тороидов текучей среды и/или подготовки торовой системы в исходное состояние автор использовал вакуумные насосы и т. п.

Использование принципа «двойственности» в одной торовой машине, а именно: **нагнетающей** (эксплозийный взрыв вовне) и **высасывающей** (имплозийный взрыв вовнутрь) функции является одной из функциональной особенностей торовых технологий, не описанной ранее в материалах автора, например, система формирования, передачи и распределения текучей среды под избыточным давлением и вакуума:

– для многократного использования торовых устройств,

– оперативной переналадки торового устройства при неудачных попытках наволакивания тора на трубу или выворачивания тора внутри трубы,

– программируемого управления подачей и отсасыванием текучей среды из тора для пошагового «одевания» пробок или муфт путем высасывания с большой скоростью из тора текучей среды с целью подготовки торовых устройств в исходное положение и т. п. [15–18].

Такая функциональная особенность присуща многим природным процессам, например:

– при работе законов Архимеда, Бойля – Мориотта и т. п.;

– в формировании силовых характеристик гравитации/левитации различной интенсивности,

– «модификации» этих законов для их использования в космосе или при отсутствии гравитационных и левитационных сил и т. п.

Необходимо учесть, что ни один из законов молекулярной физики и термодинамики не учитывает, что Природа состоит из типовых форм-оболочек материи в Природе [1]. Эти типовые формы, их комбинации и композиции являются трехкомпонентными системами, а именно:

1) оболочки погружены в межоболочечную текучую среду – эфир (Plateau-Shikhirin Skeleton or Aether),

2) материал оболочки (Shell) тонкий эластичный/мягкий,

3) оболочка заполнена текучей средой под избыточным давлением (Filler).

Оболочку с наполнителем подположительным (избыточным) давлением можно назвать линзой (Lens), оболочку, заполненную отрицательным давлением (вакуумом) – ежем.

Поэтому некоторые «законы» физики, например, законы Архимеда, Бойля– Мориотта и т. п. являются только красивыми моделями или частными случаями реального структурного состояния материи в Природе.

Поскольку перечисленные законы у многих читателей, как и у меня когда-то, были жестко зашиты в памяти с помощью их тотального повсеместного вдалбливания со школьного возраста и на всех уровнях, то чтобы был понятен предмет разговора, автор пользуется их сегодняшними терминами и определениями.

Перемещения тел в микромире и меньше, и мегамире и больше, в условиях гравитации подчиняются закону Архимеда, а именно: на тело, погружённое в текучую среду (жидкость или газ), действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной этим телом текучей среды (жидкости или газа), называемая **силой Архимеда**

$$F_A = pgV = pghS,$$

где p – плотность текучей среды, г/см^3; g – ускорение свободного падения, м/сек^2; V – объём погружённого тела (Body), см^3; h – средняя высота тела, см; S – максимальная площадь горизонтального поперечного сечения тела, см^2.

Э**тот закон работает** в текучей среде (газ или/и жидкость), например, в **атмосфере планеты, звезды или искусственном поле тяготения**.

Вы не можете всплыть или взлететь, если упираетесь в какую-либо преграду. Преградой может быть и Ваш вес.

Вы не можете утонуть или упасть, если упираетесь в какую-либо преграду. Преградой может быть также Ваш вес.

При этом форма тела, например, «тарелки» – диска, использует эти и другие особенности:

– для увеличения силы Архимеда F_A форму «тарелки» делают дискообразной, т. е. S – максимальная площадь горизонтального поперечного сечения тела, $S = \pi R^2$, где R – наибольший радиус «тарелки», а значит максимальная $F_A = |F^+| - |F^-|$, соответственно;

– оптимизация конструкторско-технологических характеристик природными пропорциями: вписываемость сферы в тор, несколько функциональных π, закон Филлотаксиса и т. п.

– золотым отношением/сечением Psi и ее бесконечными искусственными ветвями, работающими только на плоскости, которой не существует в Природе, настолько засорили математическую литературу, что оно превратилость из сакрального элемета в элемент лженауки – математический коллайдер для бесконечного производства Psi;

– *«В здоровом механизме нет никаких линий и правильных окружностей»*, Виктор Шаубергер

"In the whole machine ***there*** *is* ***no*** *straight* ***line*** *and* ***no*** *circle",* Victor Schauberger.

Для перемещения в условиях отсутствия сил тяжести или гравитации, например, в Космосе, не работает так называемая «невесомость», закон Архимеда и, конечно же, законы Ньютона (!).

Поэтому для перемещения тела («тарелки») необходимо создать разность между **втягивающим** (P^-) и **вытаскивающим** (P^+) давлениями, формируемыми природным или техническим движителем транспортного средства: тело само себя втягивает или вытаскивает.

Возможны три случая:

1) $P^- > P^+$ – тело гравитирует/«тонет»;
2) $P^- = P^+$ – тело зависает/«плавает»;
3) $P^- < P^+$ – тело левитирует/«всплывает».

В космическом пространстве, где сила тяжести отсутствует, т. е. $g = 0$ м/сек^2, *а* плотность сверхразряженного газа p = малой величине, по крайней мере намного менее плотности газа водорода 0,09 г/см^3, то сила Архимеда равна или стремится к 0:

$$F_A = pgV = pghS = \sim 0{,}09 \bullet 0 \bullet hS = 0\ (?!).$$

Этот результат говорит о том, что:

– закон Архимеда в Космосе не работает;

– площадь горизонтального поперечного сечения тела («тарелки») не играет никакой роли;

– **сила Архимеда настолько ничтожна, что перемещение «тарелки», ... планет и галактик (!) можно осуществлять небольшими усилиями, например, рукой – главное чтобы найти точку опоры. Возможно поэтому Архимед не смог найти точку опоры, чтобы перевернуть мир (*Dos moipu sto, kai tan gan kinaso – Дай, где стать, и я поверну Землю*);**

– необходима другая, взамен формулам Архимеда и Ньютона, **природная формула**, объясняющая принцип перемещения природных тел или их управляемого перемещения в космосе, например, «тарелки» или корректировка орбиты Луны.

Попытка написания формул, хотя бы ее компонент, предпринята и развита в настоящей статье.

Такое «неархимедовское», а природное «шаубергеровское» перемещение осуществляется:

– втягивающим (сверх) высоким вакуумом (или отрицательным давлением) P^- со (сверх) низкой температурой T^-;

– вытаскивающим (сверх) высоким давлением P^+ со (сверх) высокой температурой T^+,

Пририрородным или искусственным движителем для перемещения тел в Космосе, а также в условиях наличия сил тяжести, является VTortex – замкнутый самоподдерживающийся вихрь, имеющий эту основную функциональную особенность.

То есть зона (сверх) высокого давления или положительного давления имеет (сверх) высокую температуру T^+, а зона (сверх) высокого вакуума или отрицательного давления имеет (сверх) низкую температуру T^-.

Таким образом параметры-пары $\{P^+,T^+\}$ и $\{P^-,T^-\}$ **имеют неразрывную связь через фазовые переходы: периферию и центральная часть** VTortex**.**

«Армирующую» роль VTortex играют торические узлы (p,q), где p – количество витков вокруг меридиана тора, а q – количество витков вокруг долготы тора. Периферийная часть нитей торического узла пред-

ставляет из себя его разрозненные нити, собирающиеся в жгут в его центральной части.

По закону «набухания» или «худения» размеры VTortex и количество нитей торического узла по параметрам p и q увеличивается или уменьшается, соответственно. Чем больше нитей, тем больше мощность, и наоборот – чем меньше нитей, тем меньше мощность. При этом угол конусности α неизменен.

Само тело должно иметь давление P^0 и температуру T^0, т. е. параметр-пару $\{P^0, T^0\}$. Тогда общее выражение самоперемещающегося тела в Космосе, например, галактика, малая комета, «тарелка» и т. п. имеет следущие функциональные варианты:

1) $\{P^0, T^0\}>\{P^+, T^+\}>\{P^-, T^-\}$ – при перемещении «вперед»,
2) $\{P^0, T^0\}>\{P^+, T^+\}<\{P^-, T^-\}$ – при перемещении «назад»,
3) $\{P^0, T^0\}>\{P^+, T^+\}=\{P^-, T^-\}$ – при зависании/«буксовании» на месте.

Действие $\{P^+, T^+\}$ и $\{P^-, T^-\}$ – это растягивание/разрывание ←•→ тела в разные стороны или его сжимание/раздавливание →•←, соответственно.

Чтобы тело не раздавило или разорвало, значение параметра-пары $\{P^0,T^0\}$ всегда должно быть больше значений параметров-пар $\{P^+, T^+\}$ и $\{P^-, T^-\}$.

На поддержание такого самоподдерживающегося процесса тотально по автоматическому запросу приходит по каналам Плато – Шихирина строго дозированный комплект материи, энергии и информации структуризации (M_S, E_S и I_S) за определенное календарное время $t_{Calendar}$ во Вселенском времени ($T_{Universe}$).

Этот комплект приходит из **«хранилищ» энергетических ресурсов типовых форм рабочей текучей среды** (рис. 2), т. е. сумма возможных пропорциональных порций самих одноименных форм рабочей текучей среды, не нарушая при этом их работоспособность – чем больше запрос, тем больше по размеру типовая форма-облочка или количество этих форм в их плотной упаковке.

Примерная функциональная энергоинформационная формула энергии и информации VTortex или любой типовой формы рабочей текучей среды при самоподдерживающемся режиме этой формы имеет следущий вид:

$$\{M, E, I\} = \{M_S, E_S, I_S\} + \{E_A, E_A, I_A\},$$

где M_A, E_A и I_A – автономные (Autonomous) материя, энергия и информация, соответственно.

Также этот принцип заложен в основу безопорного или самопорного движения в Природе от микромира и меньше, до мегамира и больше, а также в технике.

Например, таким способом происходит перемещение следущих «тел» [1, 2]:

- биологических жидкостей в растительном и животном мире, где сила тяжести необходима только для крепления за земную поверхность и вспомогательных, попутных функций;
- в животном мире для интенсивного перемещения биологических жидкостей Природой создан мотор (сердце);
- галактик, комет, смерчей, мух, форелей и т. п.;
- «тарелок» – транспортных средств других, более развитых цивилизаций и т. п.

«Думаю было бы намного лучше, если бы Ньютон сначала поразмыслил, как эта яблоня там выросла», Виктор Шаубергер/"I think it would have been much better if Newton hsd contemplated how the apple got up there in the first place". Viktor Schauberger. Implosion Magazine. No. 35. P. 16. Ed.

Неработающие в Природе «теоретические» законы Ньютона, возможно, будут полезны для истории науки и развития детского ума на различного рода олимпиадах, выступлениях конкурсах и т. п., особенно бессмысленных заученных матриц олимпиад, шахматных турниров и, особенно, самого низкого уровня инженерного труда, искусственно возведенного до гениальности человека, соревнований «ремесленников»-программистов.

Все определяет природная механика, состоящая не из ремней и шестеренок, а из мягких, эластичных винтовых сферических и торических узловых замкнутых поверхностей!

Для справки. В настоящее время в кабинете Ньютона сидит его достойный приемник – «большой взрыватель» «Ньютон XX и XXI века» Стивен Хокинг (Stephen Hawking), «выполняющий», под укправлением начальников, один из пиаровских проектов типа адронного коллайдера.

4. Энергоинформационный (информационно-энергетический) закон по природному закону перемещения внешней энергии формы *VTortex для развития.*

$$\{M_S, E_S, I_S\} > \{M_A, E_A, I_A\},$$

$$\{M_S, E_S, I_S\}/\{M_A, E_A, I_A\} = \text{постоянной величине } \boldsymbol{\omega},$$

тогда

$$\{M_S, E_S, I_S\} = \{M_A, E_A, I_A\}\cdot\boldsymbol{\omega},$$

$$\{M, E, I\} = \{M_A, E_A, I_A\}\cdot\boldsymbol{\omega} + \{M_A, E_A, I_A\} = \{M_A, E_A, I_A\}\cdot(\boldsymbol{\omega} + 1)$$

При $\{M_A, E_S, I_S\} = 0$, т. е. $\{M, E, I\} = \{M_A, E_A, I_A\}$, типовая форма рабочей текучей среды «затухает»/разваливается или прекращает свою деятельность.

При $\{M_S, E_S, I_S\}>0$, $\{M, E, I\} = \{M_A, E_A, I_A\}\cdot(\boldsymbol{\omega} + 1)$ типовая форма рабочей текучей среды развивается, а именно: увеличивает

– свои размеры,

– мощность,

– функциональные харакеристики, например, у ***VTortex*** увеличивается количество нитей торического узла (рис. 4) и т. п.

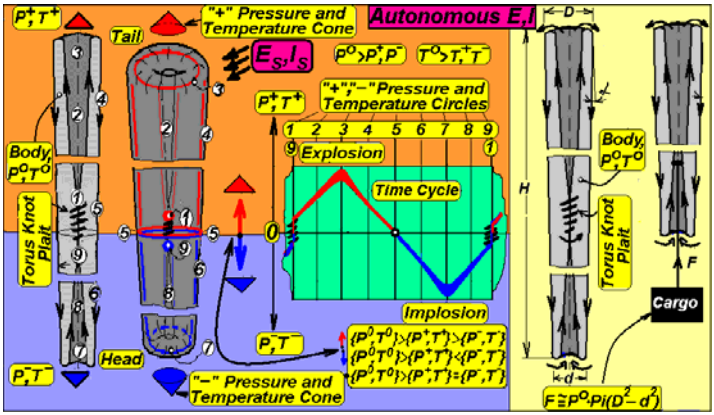


Рис. 4. Показана параметрическая картина автономной работы VTortex (без материи M_S, энергии E_S и информации I_S структуризации)

Механизм поступления материи M_S, энергии E_S и информации I_S структуризации показан на рис. 4, справа.

Справа: тяговые усилия конического тора или VTortex не зависят от его длины.

Энергоинформационный (информационно-энергетический) закон по *теоретическому закону Ньютона, неработающего в Природе:*

$$\{M_A, E_A, I_A\} = 0,$$

тогда

$$\infty = \{M_A, E_A, I_A\}=1/\infty,$$

$$\{\mathrm{M, E, I}\} = \{\mathrm{M_A, E_A, I_A}\} = 1/\infty$$

При $\{M_A, E_S, I_S\} = 0$, т. е. $\{M, E, I\} = \{M_A, E_A, I_A\}$, типовая форма рабочей текучей среды «затухает»/разваливается или прекращает свою деятельность.

При $\{M_S, E_S, I_S\}>0$, $\{M, E, I\} = \{M_A, E_A, I_A\}\cdot(\boldsymbol{\omega} + 1)$ типовая форма рабочей текучей среды развивается, а именно: увеличивает

– свои размеры,

– мощность,

– функциональные харакеристики, например, у ***VTortex*** увеличивается количество нитей торического узла (рис. 4) и т. п.

Необходимо помнить и учитывать:

– Перемещения в космосе, т. е. сверхразряженного газа или эфира, возможны только по каналам Плато – Шихирина – межоболочковом пространстве плотной упаковки платоновых и архимедовых тел (многогранников), как пространства Вселенной, где существуют гравитационные центры в вершинах многогранников и левитационные центры в серединах межребрового пространства [1, 8].

– Плотная упаковка шихириных тел – семигранников (6, 4, 4, 4, 4, 3, 3) [1], составляет структуру галактики-тора, с центрами гравитации и левитации в их ребрах.

– Слабыми местами на планетах и звездах от всевозможных внешних и внутренних силовых воздействий являются геометрические центры пятиугольников – оснований додекаэдров, куда «упираются» вершины икосаэдров и очень близко подходят вершины звездчатых икосаэдров как вакуумных камер и центра гравитации/тяготения планет и звезд. Обычно в этих местах функционируют реки, озера.

Звездчатый икосаэдр вписан в додекаэдр, а его вершины совпадают с вершинами (простого) икосаэдра.

Эти слабые места Природой загерметизированы трехслойными клапанами, сформировавшимися во время процесса поперечно-винтовой прокатки планеты или звезды. Клапаны состоят из нефти, газа и воды.

Часть клапанов разрушена, и с нарастающим темпом разрушается до сих пор деятельностью человека, что приводит:

- к дополнительным ослаблениям уже «ослабленных» Природой мест планеты,
- дальнейшей разгерметизации вакуумной камеры Земли и потере ею силы притяжения/гравитации (ускорение свободного падения g уже уменьшилось) и стягивающего усилия к центру планеты от ее распада, соответственно.

Заключение

«Сейчас гораздо позднее, чем мы думаем». Из английской классической литературы

«Защита интеллектуальной собственности бессмысленна, поскольку мир идет к единственной корпорации – похоронному агенству». Автор

Центром земной и солнечной гравитации являются вакуумные камеры в виде звездчатых икосаэдров/додекаэдров, сформированных двухвалковым станом поперечно-винтовой прокатки – центральной части Галактики, представляющей из себя винтовую (замкнутую) тороидальную узловую поверхность ($3n_p$; 2)*, где* $3n_p$ *(несколько десятков тысяч) – количество витков вокруг меридиана тороида (полярной оси),* ($q = 2$ *валка) – количество витков вокруг долготы (параллели) тороида/оси [1].*

«Поворотный» период с эфирной энергетики на углеводородную - 1896/1907 гг., а позднее, т. е. с 1911 года на атомную, содержал «специальный план мероприятий» – силовое давление элитой и ее элитными тайными войсками (надгосударственные и государственные структуры) на интеллектуальный центр развития эфирной энергетики, которое продолжается до сих пор.

Правда, результат реализации этого плана из спокойного и уверенного претворения в жизнь **превратился в трагикомедию планетарного масштаба – нарушилась герметизация вакуумной камеры Земли [2, 3], в которую всасалось уже 10–15 % атмосферы планеты.**

Остановить этот процесс невозможно, даже привлекая все технологические резервы планеты.

Что можно успеть сделать за оставшееся время 175–200 лет:

(1) Ускоренно подготовиться к эмиграции на другую планету, пригодную для жизни;

(2) Эмигрировать с отобранными по **определенным критериям переселенцами из представителей вызревшего спелого социума** (45–60^0N/30–60^0E), абсолютно **исключая представителей из элиты.**

По всем функциональным параметрам к этим переселенцам относятся представители русского, украинского и американского социума [7].

Природные технологии, взаимодополняющие друг друга и созданные не знавшими друг друга гениями, основывались:

А. **1869, 1902**: на открытии **Дмитрием Менделеевым**

1) периодического закона (алхимических) элементов, отражающего материо (М)-, энерго (Е)-, информационную (I) структуру Вселенной; индивидуальное календарное время ($T_{Calendar}$) структуризации и деструктуризации каждого элемента во Вселенском времени ($T_{Universe}$)– $MEIT_{Calendar}/T_{Universe}$.

2) структурного мирового **Эфира (Ae)**, коренного инертного газа **Корония (Ко)** и целой гаммой химических элементов, еще предстоящих к открытию после 2014 года. Эти элементы сможет открыть автор в оставшееся время его жизни, если ему позволит Природа, но не на «столе с

химическими реактивами», а **с помощью интуиции, опыта, природных знаний и «крыльев интерполяции и экстраполяции».**

B. **1899–1902:** создании **Николой Теслой** систем эфирной энергетики;

C. **2008:** открытии автором:

- 3-компонентной структуры пространства – Пена-4D, Вселенной наномира и бесконечно меньше, мегамира и бесконечно больше, сотоящей из плотной упаковки сферических/полиэдрических и торообразных-**VTortex** оболочек-линз и –ежей, или винтовых сферических, цилиндрических и тороидальных узловых замкнутых поверхностей, переходящих друг в друга с неизменяемыми узловыми, красковыми-мерными, филлотаксисными параметрами:
- межоболочкового структурированного определенным образом пространства – каналов (капилляров) Плато – Шихирина, состоящих из Мирового структурного Эфира (Дмитрия Менделеева) и инертных газов – Короний (Ae) коренной газ, сдавливающих извне (от оболочки-линзы) или распирающеих изнутри (к оболочке-ежу) остальные химические элементы под «+» или «–» давлением, соответственно.

В основном химические элементы выдавливаются в пространство между вершинами 4 оболочек-линз или всасываются в пространство, находящееся на ~ середине ребер 3 оболочек-ежей. «Химические элементы» состоят из звездного вещества;

- материала оболочки – тяжелыхе газов;
- текучей среды под «–» или «+» давлением – легкие газы, в основном это водород (H_2) и гелий (He).

Силовыми воздействиями для работы самоподдерживающихся систем, особенно в условиях космоса, является автоматическое поддержание природной формы VTortex индивидуальным пакетом материи, энергии, информации и определенного календарного времени структуризации, высасываемым их интеллектуальной космической базы.

Автор предлагает заняться созданием эфирных систем студентам, инженерам и ученым приборостроительного факультета Ижевского механического института (ИжГТУ имени М. Т. Калашникова), поскольку его представители даже по сравнению с представителями машиностроительного факультета несомненно более выше по интеллектуальному уровню, готов к пониманию природных (автоматических) процессов структуризации и адаптации их к созданию новой космической техники, абсолютно исключая использование заимствованных отсталых технологий 70-летней давности, основанных на жесткой «плоской» механике и электронике, и энергии «первобытного костра».

Список литературы

1. *Шихирин, В. Н.* Плотная упаковка винтовых торических, пирамидальных и сферических узловых поверхностей наномира и бесконечно меньше, мегамира и бесконечно больше, омываемых изнутри и извне Мировым (структурным) Эфиром Дмитрия Менделеева – основа существования Вселенной и Жизни // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : тр. IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 13–15 нояб. 2013). – Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – Ижевск, 2013. – URL: http://www.evgars.com/athier2.htm ; http://alt-tech.org/index.php?module=content&func=doc_view&id=310&fid=46/.
2. *Шихирин, В. Н.* Создание источников совершенной энергии для выживания Человечества в условиях глобального изменения климата на Земле – космической фазой его похолодания // Торовые технологии : материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. (Иркутск, 24 окт. 2007). Иркутск : Иркут. гос. техн. ун-т, 2007. – С. 3–28.
3. *Шихирин, В. Н.* Разрушение атмосферы Земли. Техническое задание на проведение НИЭР «Панацея»: Создание самоподдерживающихся источников VTORTEX-энергии (генератор), движителей транспортных средств («тарелка») и сопутствующих систем для индивидуального использования, или продолжение истории с платформой Гребенникова // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : тр. 7-й Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 17–19 нояб. 2011). – Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – Ижевск, 2013.
4. *Шихирин, В. Н.* Законы структуризации в Природе – основа создания самоподдерживающихся безтопливных источников энергии и движителей космических аппаратов : 14-я Укр. конф. по космич. исслед., 8–12 сент. 2014 г. – Elastoneering Inc., Chicago, USA.
5. *Акимов, А. Е.* Торсионная связь – основа космических систем передачи информации на новых физических принципах : труды. – Т. 1. Горизонты науки и технологий XXI века. Новая научная парадигма, торсионные технологии под редакцией академика РАЕН А. Е. Акимова. М. : ФОЛУМ, 2000.
6. *Шихирин, В. Н.* Разработка аппаратуры и холистичных технологий программно-структурированных материалов с целью получения заданных свойств : науч.-техн. отчет по теме «Идеал-материалы» / В. Н. Шихирин, П. А. Сергеев, В. М. Скоробогатов. – М., 1993.
7. *Попов Ю.* Пневмоника / Ю. Попов, Ю. Пухначев // Наука и жизнь. – 1965. – № 1.
8. *Barras, Colin.* New microprocessor runs on thin air // New Scientist. – University of Michigan. – September 3, 2009.
9. Method for producing traction and device for implementing same / Volodymyr Vasylovych Berdinskikh et al. – International Application PCT/UA2011/000071. – 14.06.2012.
10. *Шихирин, В. Н.* Самоподдерживающийся обмен материей, информацией и энергией в Природе на примере растительного и животного мира // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : материа-

лы 7-й Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 17–19 нояб. 2011). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2011.

11. *Гребенников, Виктор.* Секрет гнездовий одиноких пчел // Пчеловодство. – 1984. – № 12. – С. 28, 29.

12. *Гребенников*, *Виктор.* Секрет пчелиного гнезда. Телепатия и экстрасенсорные способности с точки зрения физики // Движение Тигель. – URL: http://centercep.ru/stati/12-chelovecheskie-vozmozhnosti/142-sekret-pchelinogo-gnezda-telepatiya-i-ekstrasensornye-sposobnosti-s-tochki-zreniya-fiziki.html

13. *Lim, T. T.* Vortex Ring. University of Melbourne. – Australia, 1993.

14. *Шихирин, Валерий*. Идеи и самые простые торовые устройства для закупорки поврежденной нефтяной трубы на примере Deepwater Horizon Incident in Mexican Gulf // Торовые технологии : материалы докл. 7-й междунар. науч.-практ. конф. (Иркутск, 27 окт. 2010). – Иркутск, 2010.

15. *Shikhirin, Valeriy.* Part 1: Tore Technologies, Single-component toroids (2008), video. – URL: http://youtube.com/user/elastoneering

16. *Shikhirin, Valeriy*. Part 2: Tore Technologies, Multy-component toroids (2009), video. URL: http://youtube.com/user/elastoneering

17. *Shikhirin*, *Valeriy.* Part 8: Tore Technologies. Damaged Oil pipe/well sealing and recovery of efficiency under water (July 2010), video. – URL: http:// youtube.com/user/elastoneering

18. *Шихирин, В. Н.* Синергетика атмосферы и смерча как природных самоподдерживающихся торовых механизмов // Торовые технологии : сб. матер. 5-й Междунар. науч.-практ. конф. (Иркутск, 23, 24 окт. 2008 г.). Иркутск : Иркут. гос. техн. ун-т. – С. 54–87

19. *Шихирин, В. Н.* Создание самоподдерживающихся источников VTortex-энергии и VTortex-движителей транспортных средств // Торовые технологии : сб. материалов 7-й Междунар. науч.-практ. конф. (Иркутск, 27 окт. 2010 г.). – Иркутск : Иркут. гос. техн. ун-т, 2010.

20. *Лавров, Б. П.* Явление синхронизации вращающихся тел (роторов) / Б. П. Лавров, Д. А. Плисс. – Дата регистрации: 14 мая 1987 г.

21. *Абрамов, И. М.* Парадоксы механических систем / И. М. Абрамов [и др] // Техника молодежи. 1988. – № 4. – С. 13, 14.

22. *Валерий Шихирин*. Технология существования Вселенной, Платоновых, Архимедовых и Шихириных тел на основе энергии и информации структуризации // Торовые технологии : сб. материалов 7-й междунар. науч.-практ. конф. (27 окт. 2010 г.). – Иркутск : Иркут. гос. техн. ун-т, 2010. – С. 161–184.

УДК 621.396.96

К. О. Шкляев, магистрант
E-mail: sgpo1@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование влияния отклонения геометрических параметров и неоднородностей свойств среды на характеристики микрополосковых фильтров

Характеристики резонансных устройств СВЧ сильно зависят от изменений геометрических размеров и свойств материалов из которых они выполнены. Данная особенность сказывается при численном моделирование таких устройств и требует детального описания модели. В большинстве случаев эти устройства помещаются в металлический корпус, что также необходимо учитывать при моделировании [1]. Зачастую модели, которые применяются в современных САПР, снижают достоверность результатов численного анализа. В итоге характеристики реального устройства существенно отличаются от результатов моделирования и не каждый метод позволяет добиться удовлетворительного для практики совпадения экспериментальных и измеренных характеристик. Самые точные численные методы требуют огромных вычислительных ресурсов, что не позволяет их полноценно использовать на начальных этапах разработки.

Обзор методов моделирования микрополосковых СВЧ устройств.

При разработке планарных СВЧ устройств широко применяются квазистатические и электромагнитные методы. Для квазистатических методов характеристика передачи составных частей устройства, таких как линий передач, связанных линий, неоднородностей и других – получается в результате замены исходного устройства композицией из многополюсников. При этом элементы топологии рассматриваются в 2D-сечениях, и предполагается, что в них распространяются только квази-Т-волны. Данные методы незаменимы на этапе синтеза устройств и их параметрической оптимизации, но характеризуются низкой достоверностью результатов. На этапе окончательной корректировки топологии перед изготовлением фотошаблонов более интересны электромагнитные методы, в основе которых лежит строгая постановка задачи. Методы моделирования во временной области обладают медленной сходимостью для высокодобротных планарных резонансных устройств СВЧ и не

© Шкляев К. О., 2015

дают явного преимущества перед методом конечных элементов (МКЭ) и методом моментов (MoM) в частотной области. В общем случае оба метода позволяют моделировать структуры из произвольных 3D-геометрий и материалов, а для метода моментов [1] существует множество модификаций, адаптированных к решению различных задач. Обязательные этапы электромагнитного моделирования включают в себя решение граничной задачи путем дискретизации решаемой области пространства на конечные элементы, составление системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) на основе полученной дискретизации и ее решение.

Особенности моделирования фильтров СВЧ

Для корректного моделирования экранированных планарных СВЧ-устройств необходимо учитывать такие особенности, как анизотропные свойства диэлектрических подложек по выделенным направлениям, толщину проводников, наличие прямоугольного экрана и омические потери в проводниках и подложках [6]. Наличие экрана и анизотропных свойств подложек в МГЭ может быть учтено при построении ФГ экранированной плоскослоистой среды, а потери в проводниках, как правило, считаются исходя из приближенных импедансных граничных условий. Во многих программах 2.5D MoM проводники по умолчанию моделируются бесконечно тонкими несмотря на возможность ее задания в интерфейсе. Если ввести дополнительный слой толщиной с проводник и с вертикальными перемычками внутри слоя между проводниками, можно смоделировать толщину проводников. Такая модификация дает результаты, близкие к МКЭ. Графики сравнения результатов расчета МКЭ и 2.5D MoM (AWR EMSight) представлены на рис. 1 и 2. Несоответствие результатов расчета модели фильтра с проводниками конечной толщины объясняются пренебрежением горизонтальными токами на боковых поверхностях проводников в 2.5D MoM, из-за чего связь между резонаторами учитывается не полностью, и полоса пропускания получается более узкой.

Ошибка растет с увеличением частоты и зависит от конструкции устройства. Ошибка, обусловленная пренебрежением горизонтальными токами для различных конструкций фильтров не детерминирована, что не позволяет отказаться от проведения дополнительных расчетов в программах, использующих МКЭ.

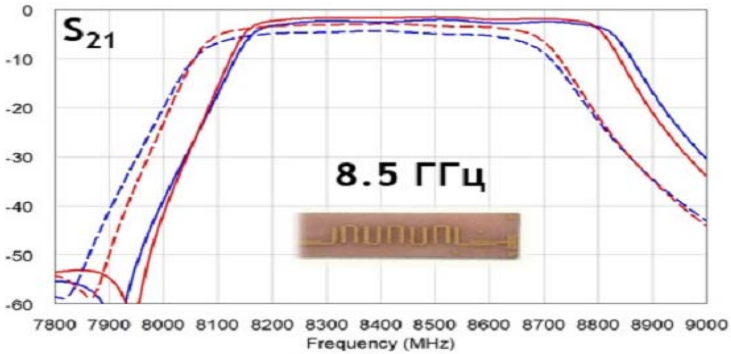


Рис. 1. Сравнение результатов расчета методами 2.5D MoM и МКЭ на примере фильтра, настроенного на центральную частоту 8.5 ГГц: сплошная линия – проводники конечной толщины; пунктирная – бесконечно тонкие проводники; синий – МКЭ; красный – 2.5D MoM

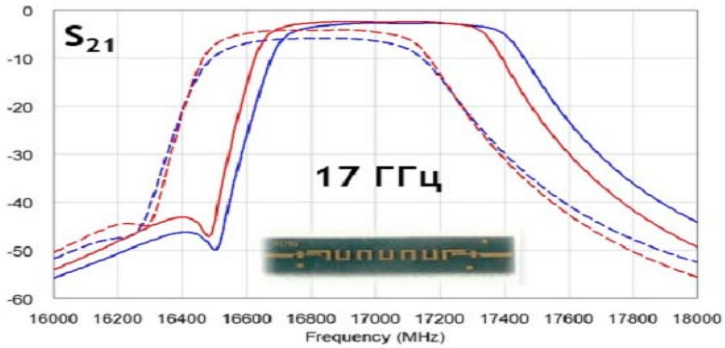


Рис. 2. Сравнение результатов расчета методами 2.5D MoM и МКЭ на примере фильтра, настроенного на центральную частоту 17 ГГц: сплошная линия – проводники конечной толщины; пунктирная – бесконечно тонкие проводники; синий – МКЭ; красный – 2.5D MoM

В модели фильтра с проводниками конечной толщины, с учетом анизотропных свойств диэлектрических подложек, омических потерь и с наличием прямоугольного экрана получается очень хорошее совпадение расчетных характеристик фильтров с измеренными характеристиками (рис. 3), чего в большинстве случаев практически невозможно добиться в программах, использующих 2.5D MoM.

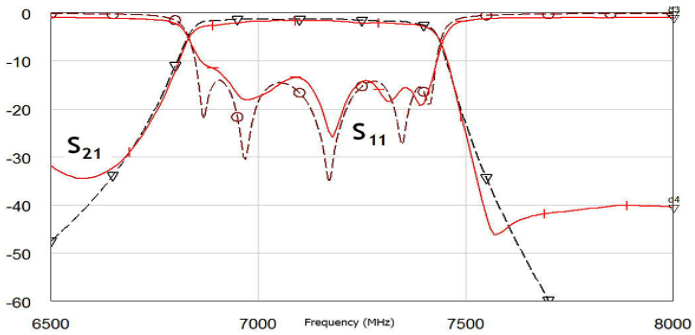


Рис. 3. Результаты расчета МКЭ и измерений S21 и Sn фильтра:
сплошная линия – измерения; пунктирная – расчет

В табл. 1 представлены возможности распространенных коммерческих программ моделирования планарных СВЧ устройств на основе MoM. Такие программы, как Zeland IE3D и Axiem являются программами 3D моделирования, и адаптированы для открытой плоскослоистой среды без возможности экранирования структуры по торцам.

Таблица 1. **Особенности программ моделирования планарных СВЧ-устройств**

	Учет толщины проводников	Прямоугольный экран	Анизотропные подложки	Треугольные элементы дискретизации	Отсутствие привязки топологии к сетке
AWR EMSight	−1	+	–	–	–
AWR Axiem	+	–	+3	+	+
Zeland IE3D	+	–	+	+	+
Sonnet	±2	+	+	±4	–
Ansys Designer EM	±2	+	–	+	+
Agilent Momentum	+2	+	–	+	+

1 Пользователю следует вручную добавлять дополнительные слои для учета толщины металла.

2 Предусмотрены опции для автоматического добавления слоев и других поправок.

3 Добавлено в версии 10.07 от 07.2013 г.

4 Конформные элементы

Направление дальнейших исследований

Для успешного применения САПР нужно чётко представлять ограничения программ и заложенных в них методов. Необходимо учитывать влияние анизотропных свойств диэлектрических подложек, экранирующих элементов, толщину проводящего слоя и омических потерь, что в МоМ применительно к планарным экранированным структурам позволяет осуществить подход с использованием 3D-модели проводников и полной тензорной функции Грина прямоугольного резонатора.

Список литературы

1. *Tai, Chen-To*. Dyadic green functions in electromagnetic theory / IEEE Press. – Piscat-away. – NJ. – 1994. – 343 p.

2. *Swanson, Daniel G*. Microwave circuit modeling using electromagnetic field simulation / Daniel G. Swanson, Jr. Wolfgang, J. R. Hoefer. – Artech House, Inc, 2003. – 469 p.

3. *Mosig, J. R*. Arbitrarily shaped microstrip structures and their analysis with a mixed potential integral equation. – IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – MTT-36. – 1988. – No. 2. – P. 314–323.

4. *James, C*. Rautio “A Space-Mapped Model of Thick, Tightly Coupled Conductors for Planar Electromagnetic Analysis” // IEEE Microwave Magazine. – September 2004. – Vol. 5. – No. 3. – Pp. 62 – 72.

5. *Марков, Г. Т*. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебное пособие для вузов / Г. Т. Марков, Б. М. Петров, Г. П. Грудинская. – М. : Сов. радио, 1979. – 376 с.

6. *Jia-Sheng, Hong*. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications // Jia-Sheng hong, M. J. Lancaster. – New-York: John Wiley & Sons, 2001.

7. *Денисенко, Д. В*. Исследование эффективности численных методов и программ компьютерного моделирования в процессе проектирования микрополосковых фильтров СВЧ : докл. 1-й Всерос. микроволновой конф. / Д. В. Денисенко, В. В. Радченко. – М., 2013. – С. 106–110.

Секция 2. ПРИБОРЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ЗДРАВООХРАНЕНИИ И ЭКОЛОГИИ

УДК 620.179.16

С. Э. Бабкин, канд. физ.-мат.-наук, ст. науч. сотр.
E-mail: babkin.s.e@mail.ru
Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск

Частотный метод определения коэффициента Пуассона

Коэффициент Пуассона является важным параметром, характеризующим упругие свойства материала [1]. При этом его прямые измерения достаточно сложны, т. к. они связаны с необходимостью измерять малые удлинения вдоль и поперек растяжения.

Из косвенных методов определения коэффициента Пуассона известны метода, использующие ультразвуковые технологии, основанные на связи коэффициента Пуассона со скоростями волн. Так из источника [2] имеем

$$\frac{C_R}{C_t} = \frac{0{,}87 + 1{,}12\nu}{1+\nu}. \qquad (1)$$

из этой формулы легко получить

$$\nu = \frac{\eta - 0{,}87}{1{,}12 - \eta}, \qquad (2)$$

где $\eta = C_R / C_t$; ν – коэффициент Пуассона; C_R – скорость поверхностной волны Рэлея; C_t – скорость поперечной волны.

В работе [3] предлагается измерять скорости C_R и C_t бесконтактным ЭМА импульсным методом одним датчиком за одну постановку. Это возможно, если образец из ферромагнитного материала (например, конструкционная сталь) имеет плоскопараллельные границы. В этом случае (рис. 1) ЭМА преобразова-

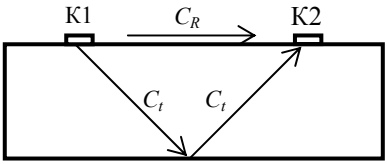


Рис. 1. Ход волн в образце

© Бабкин С. Э., 2015

тель поверхностных волн [4], содержащий две меандровые катушки К1 и К2, закрепленные между полюсами электромагнита (на рисунке электромагнит не показан), устанавливается на поверхность образца. Первая ЭМА катушка генерирует акустическую волну, вторая – принимает. При одной подстройке частоты можно добиться режима генерации и приема волны Рэлея (C_R), при другой – поперечной волны (C_t), которая распространяется под углом к поверхности, отражается от нижней грани и принимается второй катушкой. Максимум сигнала при подстройке свидетельствует об оптимальной частоте генерации волны. При известной базе преобразователя (расстояние между центрами катушек) и толщине образца указанные скорости определяются достаточно просто. Понятно, что основная трудность в этом случае связана с точным определением скоростей звука, а это в основном определяется трудностью измерения временного интервала при распространении волны. При этом, если точка отсчета принятой волны понятна: вершина колоколообразного принятого импульса на рис. 2, то точку начального отсчета О волны приходится определять экспериментально при градуировке на известном материале. Точность определения ν при этом в основном определяется точностью измерения временного интервала, и при вычислении коэффициента Пуассона ее можно оценить величиной 1,5 %.

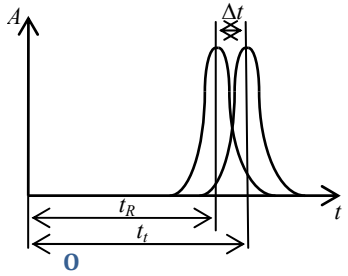


Рис. 2. Осциллограмма принятого сигнала

Перестройка частоты необходима, чтобы выполнялось условие синхронизации волн и периода меандровой катушки:

$$k_R = k_t \cos\alpha, \quad k_i = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f_i}{C_i},$$

где k_i – волновые вектора соответствующих волн; f_i, λ – частота и длина волны; α – угол между лучем распространения поперечной волны и поверхностью образца.

$$\frac{f_R}{C_R} = \frac{f_t}{C_t}\cos\alpha, \qquad \frac{f_R}{f_t} = \frac{C_R}{C_t}\cos\alpha.$$

Подставляя это соотношение в формулу (2), получаем:

$$\eta = \frac{f_R}{f_t \cos\alpha}, \quad \text{и} \quad \nu = \frac{f_R - 0{,}87 f_t \cos\alpha}{1{,}12 f_t \cos\alpha - f_R}.$$

Таким образом, полученная формула позволяет избежать измерения скорости акустических волн.

Процесс измерения в этом случае определяется точностью частотной подстройки каждого типа волны с помощью LC-корректирующих цепочек [4]. Перед подстройкой желательно провести прикидочный расчет, чтобы импульсы при частотной перестройке как-то разделялись на осциллограмме, например, на промежуток Δt, чтобы легче было проводить идентификацию волн и их настройку на максимум.

Проверка данного метода на реальных образцах показала, что при ручной настройке на максимум точность измерения коэффициента Пуассона составляет величину 2 %. Эта точность может быть существенно улучшена при автоматической компьютерной настройке.

Список литературы

1. *Золоторевский, В. С.* Механические свойства металлов. – М. : Металлургия, 1983.

2. *Викторов, И. А*. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. – М. : Наука, 1981.

3. *Бабкин, С. Э.* Оценка коэффициента Пуассона ферромагнитных материалов ЭМА способом / С. Э. Бабкин, Р. С. Ильясов // Ресурс и диагностика материалов и конструкций : тез. V Рос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург, 2011. – С. 119.

4. Устройство для бесконтактного возбуждения и приема волн Рэлея в ферромагнетиках. Дефектоскопия / С. Э. Бабкин и др. – 1989. – № 6. – С. 93–94.

УДК 620.17:658.56

Е. А. Беляева, аспирант
В. В. Муравьев, д-р техн. наук, профессор
E-mail: Lemurcha@yandex.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Влияние дефектов на выход годных при производстве герметичных танталовых объемно-пористых конденсаторов с жидким электролитом

В настоящее время танталовые объемно-пористые электролитические конденсаторы широко применяются в промышленной и специальной электронике для нужд народного хозяйства и военного назначения благодаря своим исключительным характеристикам, таким как высокая надежность и эффективность [1–3].

Для обеспечения надежности конденсаторов необходимо достижение требуемых характеристик готового конденсатора, в том числе высокие удельные заряд и емкость конденсатора, низкие и стабильные значения токов утечки при максимальных температурах и напряжениях, достижение требуемых характеристик всех компонентов-составляющих конденсатора и обеспечение повторяемости результатов операций на всех этапах производства изделий.

Современная технология производства танталовых объемно-пористых конденсаторов с жидким электролитом состоит из нескольких стадий: изготовление объемно-пористого анодного электрода, изготовление корпуса-катода, стадии сборки, специализированных операций типа тренировки, измерений электрических параметров, маркировки. При этом этап изготовления объёмно-пористого анода включает в себя следующие операции:

– приготовление танталового порошка путем добавления к нему технологической связки, обеспечивающей при ее последующем удалении максимальную удельную пористость анодного электрода;

– придание анодному электроду необходимой геометрической формы и габаритов посредством прессования смеси танталового порошка и специальной технологической связки и последующего высокотемпературного спекания высокопористого прессованного тела с целью закреп-

© Беляева Е. А., Муравьев В. В., 2015

Работа выполнена в рамках проекта № 3.751.2014/К по государственному заданию Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 гг. в рамках проектной части проведения научно-исследовательских работ.

ления заданных во время предыдущей операции формы и габаритов анодного электрода;

– процесс анодирования спеченной объемно-пористой таблетки анодного электрода для получения необходимых электрических параметров анода.

Процесс производства корпуса-катода состоит из подготовки танталового корпуса, создания на внутренней поверхности корпуса высокопористого катодного покрытия и приварки катодного вывода.

Изготовление танталовых конденсаторов должно быть ориентировано на подавление процессов деградации в анодной пленке Ta_2O_5, которая, в свою очередь, является диэлектриком конденсатора, тем самым замедляется скорость изменения рабочих характеристик при самых жестких условиях применения.

Немаловажную роль для анализа процесса изготовления конденсаторов играет исследование изменения выхода годных во временном производственном интервале и анализ возможных дефектов в течение времени.

В таблице представлены основные операции изготовления герметичных объемно-пористых танталовых конденсаторов и возможные виды дефектов.

№ п/п	Наименование операции	Возможные дефекты
1	Спекание высокопористого тела анода	Разрушающий контроль на хрупкость вывода
		Трещины
		Хрупкий вывод
2	Оксидирование анода	Большие токи утечки (БТУ)
		Нарушение оксидного слоя
3	Сборка пакета анода	Обрыв вывода
		Серые пятна
		Разрушение анода
		Трещины, царапины
		Хрупкий вывод
		Гнутый вывод
4	Зиговка конденсатора (обжатие резиновой прокладки), лазерная сварка корпуса с изолятором	Течь электролита
		Срез при завальцовке
5	Сварка анодного вывода с проходной трубочкой изолятора	Разрушение шарика
		Течь электролита
6	Проверка конденсаторов на течь электролита метилоранжем	Течь электролита

Окончание таблицы

№ п/п	Наименование операции	Возможные дефекты
7	Сварка встык анодного Ni вывода конденсатора с танталовым выводом анода	Несоосность
		Потери контроля
8	Сортировка конденсаторов по электрическим параметрам (ток утечки)	БТУ
9	Тренировка конденсаторов	БТУ
10	Проверка конденсаторов на герметичность в конденсаторном масле	Течь электролита
11	Сортировка конденсаторов по электрическим параметрам (раскалибровка)	БТУ
		Высокие значения тангенса угла диэлектрических потерь
12	Контроль конденсаторов по внешнему виду	Вмятины
		Медь на выводе
		Механическое повреждение корпуса
		Некачественная завальцовка
13	Измерение полного сопротивления	Высокие значения полного сопротивления

Наличие или отсутствие вышеперечисленных дефектов на операции, а как следствие операционный выход годных определяет критерии оценки качества конденсаторов в процессе производства изделий.

Результаты исследования выхода годных на основных этапах производства типовых (базовых) герметичных танталовых объемно-пористых конденсаторов с жидким электролитом, представлены на рис. 1–7.

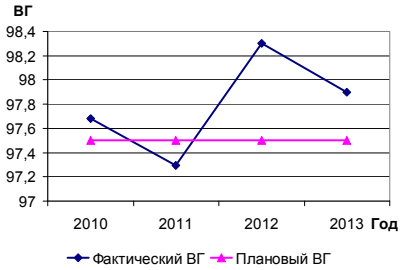


Рис. 1. Выход годных (ВГ) конденсаторов на операции «Спекание высокопористого тела анода» в зависимости от года изготовления

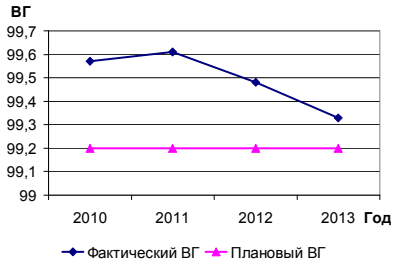


Рис. 2. Выход годных (ВГ) конденсаторов на операции «Оксидирование анода» в зависимости от года изготовления

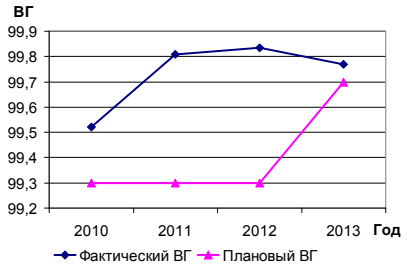


Рис. 3. Выход годных (ВГ) конденсаторов на операции «Сборка пакета анода» в зависимости от года изготовления

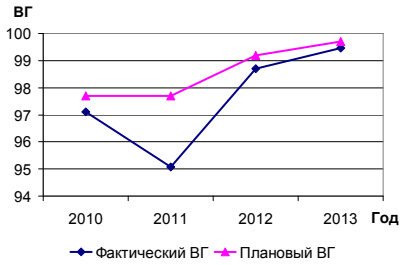


Рис. 4. Выход годных (ВГ) конденсаторов на операции «Зиговка конденсатора, лазерная сварка корпуса с изолятором» в зависимости от года изготовления

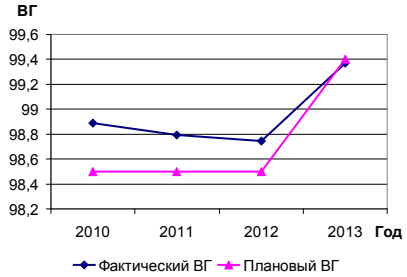


Рис. 5. Выход годных (ВГ) конденсаторов на операции «Сварка встык анодного никелевого вывода конденсатора с танталовым выводом анода» в зависимости от года изготовления

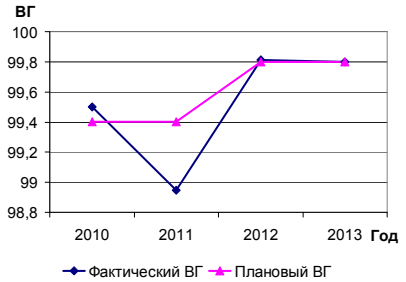


Рис. 6. Выход годных (ВГ) конденсаторов на операции «Тренировка конденсаторов» в зависимости от года изготовления

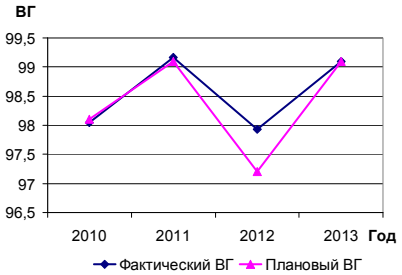


Рис. 7. Выход годных (ВГ) конденсаторов на операции «Проверка конденсаторов на герметичность в конденсаторном масле» в зависимости от года изготовления

По рис. 1–7 видно, что в целом на операциях изготовления конденсаторов, за исключением операции «Зиговка конденсаторов, лазерная сварка корпуса с изолятором», выход годных конденсаторов со временем повышается за счет выполнения специальных мероприятий, однако выявляются моменты снижения выхода годных. Так, например, в 2011 году резко упал выход годных на операции «Тренировка конденсаторов» на 0,55 % в связи с увеличением количества технологических потерь по виду дефекта «БТУ» с предположительной причиной – низкая температура спекания анодов (в пределах технологической документации), вследствие чего происходит недостаточное выгорание примесей в танталовом порошке, что и влияет на завышенные значения тока утечки. В 2012 году на операции «Проверка конденсаторов на герметичность в конденсаторном масле» наблюдается увеличение технологических потерь по течи электролита в связи максимальной дозой электролита.

На операции «Зиговка конденсаторов, лазерная сварка корпуса с изолятором» фактический выход годных конденсаторов ниже планового в связи с максимальной дозой электролита с целью достижения необходимых значений тангенса угла диэлектрических потерь готового конденсатора.

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что наиболее критичными операциями изготовления объемно-пористых танталовых герметичных конденсаторов, на которых необходимо выявлять дефекты и, как следствие, отслеживать выход годных являются:

1) на первоначальной стадии изготовления, с целью исключения потенциально ненадежных конденсаторов на последующих этапах производства: операции изготовления объемно-пористого танталового анода, а именно, спекание высокопористого тела анода и оксидирование анода;

2) в процессе сборки: зиговка конденсатора, лазерная сварка корпуса с изолятором, проверка конденсаторов на течь электролита;

3) на заключительном этапе производства с целью отбраковки несоответствующих установленным требованиям конденсаторов и недопущения поставки потребителям брака: тренировка конденсаторов, измерение электрических параметров конденсаторов.

Список литературы

1. *Кузнецова, В. А.* Исследование надежности танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов на основе экспериментальных данных / В. А. Кузнецова, П. Л. Кузнецов, В. В. Муравьев // Вестник Ижев. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 3(59). – С. 88–91.

2. Исследование влияния на эксплуатационные характеристики качества материалов танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов / В. А.

Кузнецова [и др.]. – Интеллектуальные системы в производстве. 2013. – № 2. – С. 140–143.

3. *Беляева, Е. А*. Исследование влияния срока сохраняемости на эксплуатационные характеристики и состояние объемно-пористых танталовых конденсаторов / Е. А. Беляева, В. А. Кузнецова, В. В. Муравьев. – Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1. – С. 96–99.

УДК 615.47: 616-073

О. П. Богдан, канд. тех. наук, ст. преподаватель
Л. П. Вершинина, магистрант
Ю. С. Дудина, магистрант
E-mail: pmkk@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Обобщенная модель поведения равновесного газового пузырька в воде в ультразвуковом поле

Любые частицы (несжимаемые, сжимаемые и сильно сжимаемые), находясь в жидкости в ультразвуковом (УЗ) поле, взаимодействуют не только между собой, но и с УЗ-излучением. Наибольший интерес представляет изучение поведения газового пузырька в воде, находящегося в УЗ-поле, т. к. модель, описывающая взаимное равнодействующее влияние силы радиационного давления УЗ-излучении и выталкивающей силы на газовый пузырек в жидкости [1], лежит в основе устройства для определения параметров ультразвукового преобразователя (патент на полезную модель № 140996 от 18.04.2014), включая интенсивность УЗ-излучения [2].

Модель поведения газового пузырька в УЗ-поле, лежащая в основе данного устройства, является не полной. В ней не учитываются силы радиационного давления рассеянной волны, оказывающие дополнительное воздействие на пузырек и силы притяжения, возникающие между близко расположенными пузырьками, которые приводят к деформации и, как следствие, отклонению от сферической формы пузырьков [3]. Использование не полной модели приводит к погрешности определения параметров ультразвукового преобразователя.

© Богдан О. П., Вершинина Л. П., Дудина Ю. С., 2015

Работа выполнена в рамках проекта № 3.751.2014/К по государственному заданию Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годы в рамках проектной части проведения научно-исследовательских работ.

В статье предложена обобщающая модель поведения газового пузырька в УЗ-поле, учитывающая недостатки модели используемой в источниках [1, 2]. Модель построена для пузырька (рис. 1), на который действуют сила радиационного давления излученной волны, сила радиационного давления рассеянной волны (от пузырька 1 и пузырька 2), выталкивающая сила и сила притяжения (между пузырьком и пузырьком 2). Формулы для расчета силы радиационного давления излученной УЗ волны, выталкивающей силы и силы притяжения показаны в [1–3].

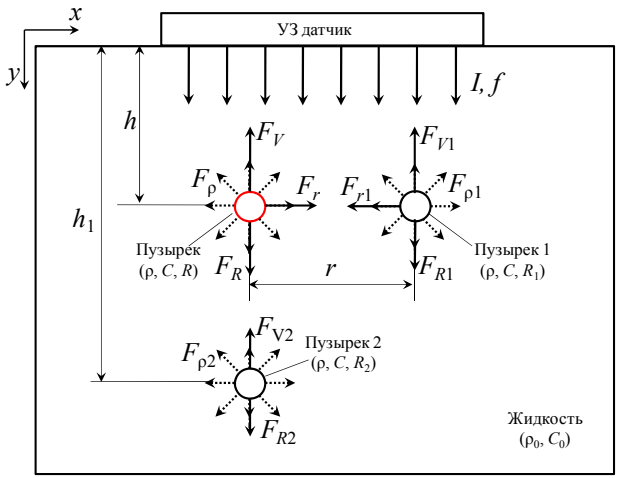


Рис. 1. Силы, действующие на газовый пузырек в жидкости в УЗ-поле

Сила радиационного давления рассеянной волны от пузырька 2 имеет вид:

$$F_{\rho 2} = \frac{\pi R^2 (kR)^4 I (SR_2)^2 e^{-4\delta h_1}}{C_0 \lambda^2 h_1^4 \left((kR)^6 + \left[\frac{3\mu^2}{\delta_1} - (kR)^2 \right]^2 \right)}, \qquad (1)$$

где $\delta_1 = \rho_0/\rho$, ρ_0 и ρ – плотность воды и воздуха; $\mu = C/C_0$, C_0 и C – скорость УЗ-волны в воде и в воздухе; R и R_2 – радиус пузырька и пузырька 2; $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота; f – частота УЗ-излучения; I – интенсивность УЗ-излучения; σ – коэффициент поверхностного натяжения воды; k – волновое число; λ – длина УЗ-волны; S – площадь излучателя; h_1 – глубина на которой расположен пузырек 2.

Рассмотрим силы, действующие на пузырек по оси y. В этом направлении на пузырек действуют три силы: сила радиационного давления излученной волны, сила радиационного давления рассеянной волны и выталкивающая сила. Зависимости этих сил от радиуса пузырька R, частоты f и интенсивности I УЗ-излучения показаны на рис. 2.

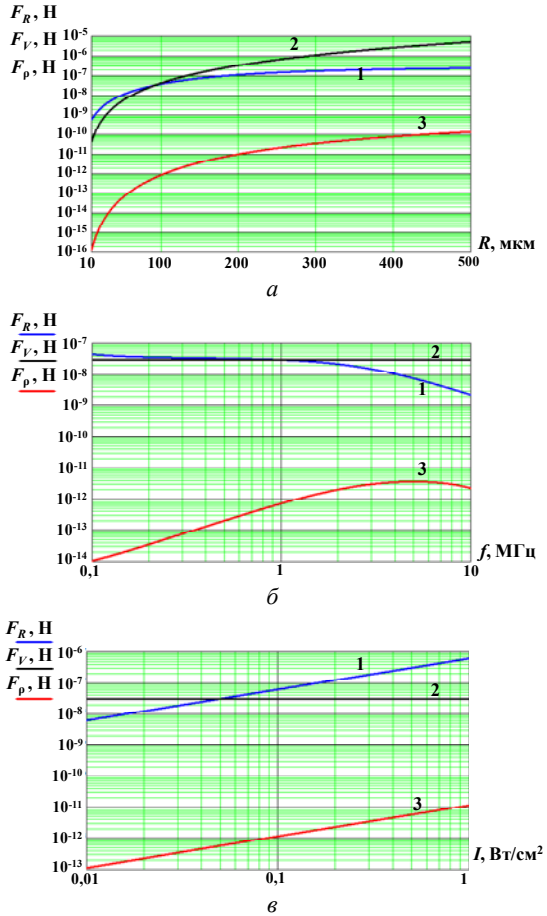


Рис. 2. Зависимости сил радиационного давления излученной F_R (1) и рассеянной F_ρ (3) волн и выталкивающей силы F_V (3) от радиуса пузырька R (*а*) (f = = 0,880 МГц, I = 0,05 Вт/см^2), частоты f (*б*) (R = 90 мкм, I = 0,05 Вт/см^2) и интенсивности I (*в*) (f = 0,880 МГц, R = 90 мкм) УЗ-излучения

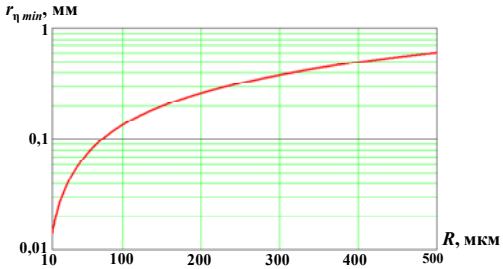
Считаем, что значение радиуса пузырька в пределах одного сантиметра уменьшается несущественно и поэтому принимаем $R_2 = R$. Из графиков видно, что с увеличением радиуса пузырька (рис. 2, *а*) и интенсивности УЗ-излучения (рис. 2, *в*) растут все силы, а увеличение частоты УЗ-излучения (рис. 2, *б*) ведет к увеличению только силы радиационного давления рассеянной волны F_ρ и, наоборот, – к уменьшению силы радиационного давления излученной волны F_R. При этом видно, что сила радиационного давления рассеянной волны на 6–7 порядков ниже силы радиационного давления излученной волны и выталкивающей силы. Поэтому в случае падения на пузырек силы радиационного давления рассеянной волны от одиночного пузырька 2 этой силой можно пренебречь. Однако при наличии большого числа равновесных пузырьков необходимо учитывать силы радиационного давления рассеянных волн от каждого пузырька путем их суммирования.

Рассмотрим силы, действующие на пузырек по оси *x*. В этом направлении на пузырек действуют сила радиационного давления рассеянной волны от пузырька 1 и сила притяжения между пузырьками. Считая, что два пузырька, расположенные на одной глубине, имеют одинаковый размер, определили расстояние между пузырьками R и R_1, при уменьшении которого сила притяжения оказывает влияние на результат измерения, т. к. под действием этих сил пузырьки приближаются друг к другу, деформируясь, как показано на рис. 3, *б*. Пороговое расстояние между пузырьками $r_{\eta\min}$ определено из условия равенства силы притяжения и силы сопротивления движению пузырька в воде, обусловленное вязкостью:

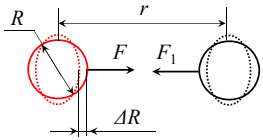
$$r_{\eta\min} = \sqrt[6]{\frac{4\rho_0 R^7 v_R \cos\omega t\left(3\cos^2\theta - 1\right)}{9\eta}}, \qquad (2)$$

где θ – угол, под которым проходит прямая через центры двух пузырьков; η – коэффициент вязкости; v_R – скорость радиального колебания поверхности пузырька

Как видно из графика (рис. 3, *а*), пороговое расстояние между пузырьками растет при увеличении радиуса пузырька и в диапазоне радиусов пузырька от 10 мкм до 500 мкм пороговое расстояние между ними растет от 0,01 мм до 0,6 мм. Экспериментально определено расстояние между пузырьками R = 90 мкм (рис. 3, *в*) которые равно 0,07 мм при f = = 0,880 МГц, I = 0,05 Вт/см^2, это меньше порогового $r_{\eta\min}$, что и привело к деформации пузырьков и как следствие к сложности обработки изображений и погрешности оценки параметров УЗ-преобразователей.



а



б

в

Рис. 3. Зависимость порогового расстояния между пузырьками от его радиуса *R* (*а*); схема деформации пузырьков (*б*); изображение деформированных пузырьков (f = 0,880 МГц, I = 0,05 Вт/см^2) (*в*)

Таким образом, показана необходимость учета силы радиационного давления рассеянной волны и силы притяжения между пузырьками для повышения достоверности оценки интенсивности ультразвукового излучения. Исследовано пороговое значение расстояния между пузырьками, при уменьшении которого пузырьки начинают сближаться и деформироваться, что осложняет оценку их радиусов. При деформации пузырька его форма существенно может отклоняться от сферической, при этом сила радиационного давления и сила притяжения принимают более сложный вид, что может внести существенную погрешность в результат оценки интенсивности УЗ-излучения.

Список литературы

1. *Коробейникова, О. В.* Исследование физических механизмов артефакта ультразвуковой допплерографии «псевдопоток» / О. В. Коробейникова, Е. П. Кузнецов, О. П. Богдан // Медицинская физика. – 2009. – № 3(43). – С. 64–70.
2. Устройство для определения параметров ультразвукового преобразователя : пат. № 140996 / О. В. Муравьева, О. П. Богдан, В. Н. Милич, С. И. Масленников. – 18.04.2014.
3. *Богдан, О. П.* Взаимодействие пузырьков в жидкости под влиянием ультразвукового излучения / О. П. Богдан, Л. П. Вершинина // Измерения, контроль и диагностика – 2014 : сб. материалов III Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых [Электронный ркесурс]. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – 1 электрон. опт. диск. – С. 42–45.

УДК 372

Л. В. Волкова, канд. техн. наук, ст. преподаватель
Т. Н. Байкалова, магистрант
Е. Г. Булатова, канд. техн. наук, доцент
E-mail: ludmila396@rambler.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Анализ содержания теста и результатов компьютерного тестирования специалистов по магнитному виду неразрушающего контроля

Оценка знаний при присвоении уровня квалификации специалистам по неразрушающему контролю является одной из наиболее трудоемких и ответственных операций.

Тестовая форма проведения общего и специального экзамена регламентирована ПР 32.113-98 «Правила сертификации персонала по неразрушающему контролю технических объектов железнодорожного транспорта» и является наиболее перспективным средством повышения эффективности управления качеством процесса сертификации [1, 2]. Тестовая форма проведения экзамена обеспечивает единые требования к оценке знаний испытуемых, наиболее полный охват изученного материала с высокой оперативностью и разрешающей способностью, кроме того исключается необъективность экзаменатора.

Целью работы является анализ эффективности содержания тестовых материалов, использующихся при сертификации специалистов на второй уровень квалификации по магнитному виду неразрушающего контроля [3].

Экзаменационные тесты Уполномоченного органа по сертификации персонала представляют собой закрытую форму тестовых заданий, в которых дается несколько готовых ответов, один из которых является верным. Содержание и структура тестовых заданий разработаны в строгом соответствии с целями и задачами, которые определены в правилах сертификации специалистов по неразрушающему контролю ПР 32.113-98.

© Волкова Л. В., Байкалова Т. Н., Булатова Е. Г., 2015

Работа выполнена в рамках проекта № 3.751.2014/К по государственному заданию Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т.Калашникова» на 2014–2016 гг. в рамках проектной части проведения научно-исследовательских работ.

Программное обеспечение для проведения тестирования включает в себя базу данных тестовых заданий, списки экзаменующихся и условия генерации тестовых заданий.

Экзаменационные тестирования проводилось в группах в 2013 г. До начала тестирования сертифицирующиеся прошли консультационные занятия, им была предоставлена возможность в реальных условиях ознакомиться режимом работы теста.

При тестировании каждому участнику сертификационных испытаний (участвовали 58 специалистов) представлялось 60 минут на одинаковое число заданий общим количеством 20 вопросов. Число тестовых заданий и время тестирования не могут меняться, т. к. это оговорено правилами по сертификации дефектоскопистов.

Гистограмма с результатами проведённого тестирования приведена на рис. 1. Граница тестирования выше 80 % соответствует сданному экзамену, граница тестирования ниже 75 % соответствует несданному экзамену, однако возможно дальнейшее обсуждение результатов на собеседовании. Средний результат тестирования среди 58 испытуемых составил 80 %. Распределение полученных результатов равномерно, т. е. отсутствует резкое деление специалистов по уровню подготовки.

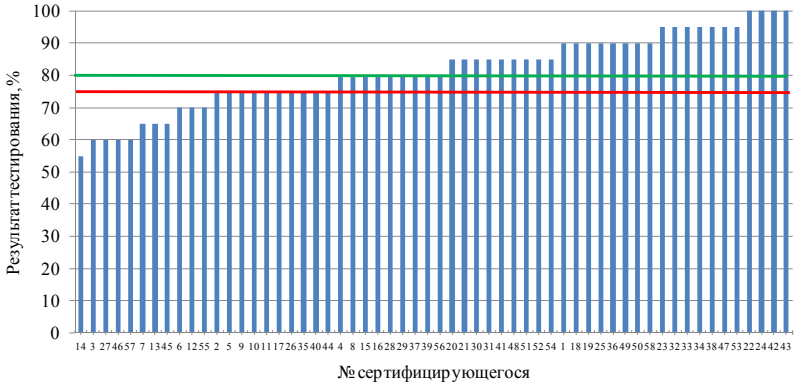


Рис. 1. Результаты тестирования сертифицирующихся

Результаты тестирования по отдельным вопросам экзаменационного теста оказались разным (рис. 2). Процент успешного выполнения того или иного тестового задания распределился от 0 до 100. Из общей выборки 143 вопроса на 61 вопрос испытуемые ответили со 100 %-й результатом, в 92 вопросах превысили 80 %-й результат, в 21 вопросе были близки к среднему уровню (от 70 до 80 %), и в 30 вопросах ответы

оказались наименее успешными (ниже 70 %). На 135-й вопрос никто не ответил верно. Анализируя полученные результаты, следует вносить коррективы в форму и содержание заданий, установления причин недостаточного усвоения материала в вопросах с низким процентом правильности ответов и уделения этим вопросам большего внимания на консультационных занятиях.

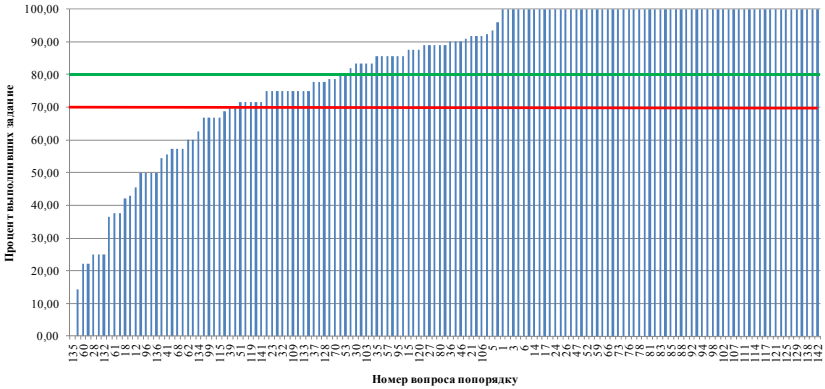


Рис. 2. Результаты тестирования по отдельным вопросам теста

Наиболее эффективный анализ качества тестов выполняется по методике измерения латентных переменных, основанной на модели Раша. Анализ качества тестовых заданий по методу Раша приводился по следующим аспектам:

1. Выявление и исключение из теста экстремальных заданий;
2. Соответствие трудности предложенного теста уровню подготовленности сертифицирующихся [5].

Выявление и исключение тестовых заданий с экстремальными значениями

В исследуемом случае среди 143 заданий оказалось 62 экстремальных задания (рис. 1), существует 61 задание, которые решили все испытуемые, и 1 задание, которые не решили все испытуемые.

Соответствие трудности предложенного теста уровню подготовленности сертифицирующихся

Для анализа трудности теста уровню подготовленности испытуемого были рассчитаны логиты трудности заданий и логиты обученности испытуемых [3, 4]. Распределения по уровням подготовленности специалистов и трудности заданий представлены на рис. 3, 4 соответственно

Если бы гистограмма распределения трудностей заданий (рис. 3) была близка к равномерному закону распределения, то исследуемый набор тестовых заданий с одинаковой точностью позволил измерить уровень подготовленности испытуемых на всем диапазоне варьирования трудностей тестовых заданий [2]. Анализ представленной гистограммы (рис. 3) показывает, что в нашем случае распределение трудностей заданий не соответствует равномерному закону, кроме того, значения трудностей имеют пропуски. Так, отсутствуют задания от 2-го до 3-го логита. Стоит отметить, что число заданий с низким уровнем трудности велико.

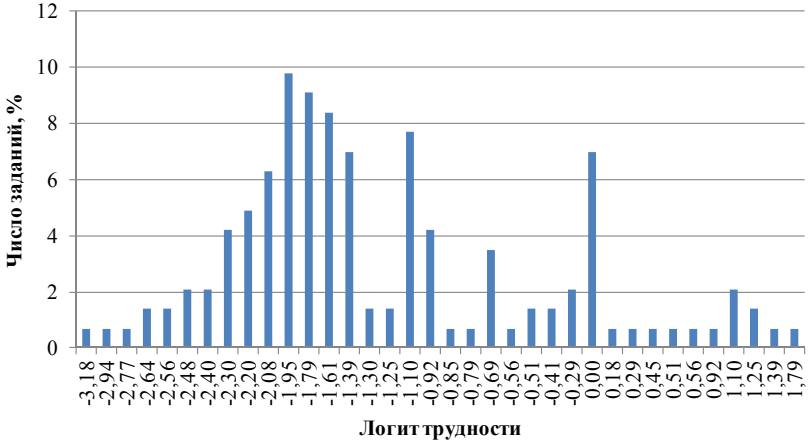


Рис. 3. Распределение заданий по уровню трудности

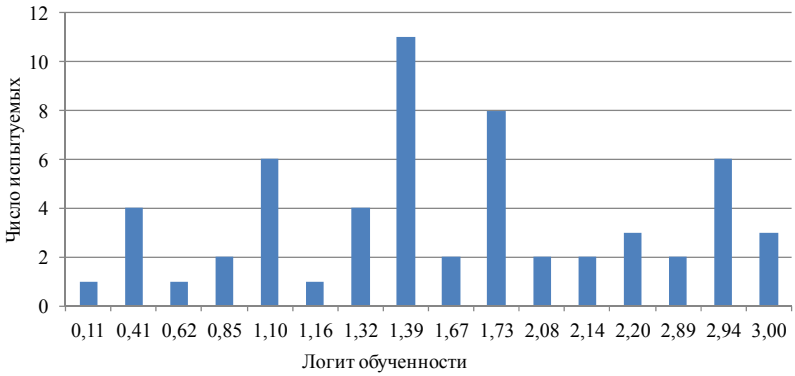


Рис. 4. Распределение испытуемых по уровню обученности

Для обеспечения точности измерений средняя трудность заданий не должна отличаться от среднего уровня подготовленности специалистов более чем на 0,5 логита [2]. По результатам проведенного тестирования средний уровень подготовленности студентов на 2,5 логита выше среднего уровня трудности заданий. Полученный результат можно объяснить двояко: специалисты по неразрушающему контролю достаточно хорошо подготовлены, или набор заданий слишком легкий.

Диапазон измерения уровня подготовленности испытуемых (рис. 4) составил от 0,11 до 3,0 логита, т. е. все испытуемые успешно справились с заданиями.

Уровень трудности заданий изменяется от –3,13 до 1,79 и покрывает интервал изменения уровня подготовленности специалистов по НК. С этой позиции можно утверждать, что легких вопросов в тесте больше, чем трудных и используемые тестовые задания не достаточно хорошо разделяет испытуемых по уровню их подготовленности.

К наиболее легким тестовым заданиям относятся задания с логитом трудности –3,55 до –1,708, к заданиям средней трудности с логитом –1 до 1, а к наиболее трудным заданиям относятся задания с логитом трудности 1,75

Анализируя данную информацию можно определить, какие задания следует пересмотреть с точки зрения увеличения или уменьшения их трудности.

Таким образом, тесты, предложенные при сертификации специалистов, обладают максимумами, т. е. необходимо менять структуру контрольных измерительных материалов, необходимо увеличивать количество заданий со средним значением логита трудности, добавить задания, где наблюдаются пробелы, уменьшить задания с низким уровнем логита трудности, т. е. привести гистограмму распределения трудности заданий к нормальному распределению.

На данный момент для исключения появления необъективности тестирования в УОСПе проводится собеседование со специалистами, которое поможет определить, владеет ли специалист по НК основными понятиями, закономерностями и технологией проведения контроля, а также: как полученные знания помогают ему при решении практических задач.

Список литературы

1. *Аванесов, В. С.* Композиция тестовых заданий : учеб. пособие. – М. : Ассоциация инженеров педагогов, 1996. – 191 с.

2. *Челышкова, М. Б.* Теория и практика конструирования педагогических тестов : учеб. пособие. – М. : Логос, 2002. – 432 с.

3. *Булатова, Е. Г.* Методы исследований в социальных и гуманитарных науках / Е. Г. Булатова, В. С. Черепанов // Курс теоретической и экспериментальной педагогики / под общ. ред. В. С. Черепанова. – Т. 1. Математическая педагогика. – Ч. 1. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2008. – 189 с.

4. *Нейман, Ю. М.* Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов / Ю. М. Нейман, В. А. Хлебников. – М. : Прометей, 2000. – 169 с.

5. *Аванесов, В. С.* Применение тестовых форм в Rasch Measurement // Педагогические измерения. – 2005. – № 4. – С. 3–20.

УДК 621.385.833

К. С. Ермолин, аспирант
Ю. К. Шелковников, д-р техн. наук, гл. науч. сотр.
Н. И. Осипов, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Институт механики УрО РАН, г. Ижевск

Построение коммутационного блока сканирующего акустического микроскопа

В настоящее время для изучения микроструктуры внутренних областей объектов широко применяются акустические микроскопы. Так как акустические волны реагируют на механические свойства, контраст микроскопа определяется изменениями в упругости, плотности и акустическом затухании в среде. А поскольку акустические волны могут проникать в оптически непрозрачные материалы, акустический микроскоп позволяет производить: неразрушающее и быстрое исследование объемных и структурных дефектов различных материалов; обнаружение неоднородностей, разницы плотностей, напряжений и отслоений; измерение толщины слоя, исследование надежности, определение стыков материалов [1, 2]. Разрешающая способность акустического микроскопа такая же, что и у оптического микроскопа, а с повышением рабочей частоты акустического излучения она может сравниться с разрешением электронных микроскопов [3].

Одним из важнейших блоков акустического микроскопа с ходом лучей на отражение, определяющих его структуру, является быстродействующий коммутатор сигналов к акустической линзе и от неё. Сканирующий акустический микроскоп (САМ) с быстродействующим коммутатором БКК, построенным на аналоговых ключах (рис. 1), работает следующим образом.

© Ермолин К. С., Шелковников Ю. К., Осипов Н. И., 2015

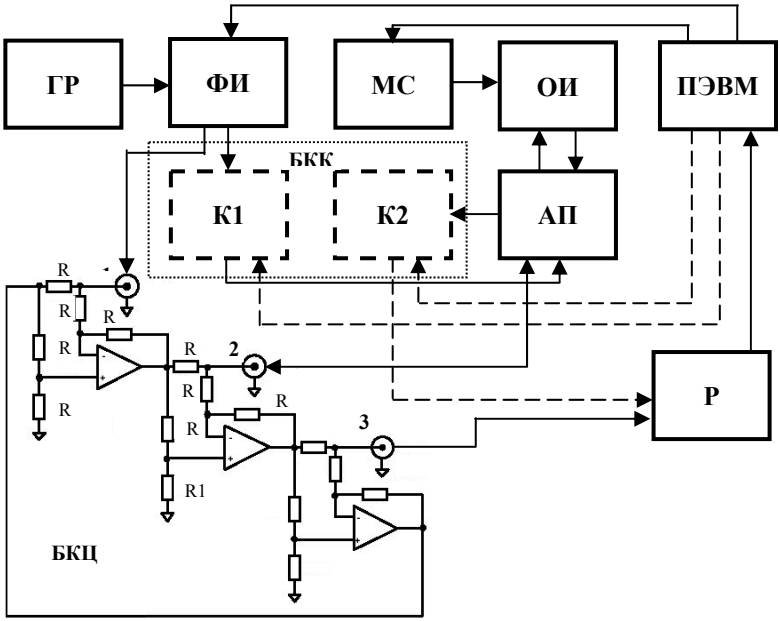


Рис. 1. Структурная схема САМ: ГР – генератор радиочастоты; ФИ – формирователь импульсов; БКК – быстродействующий коммутатор на основе аналоговых ключей; К1, К2 – аналоговые ключи; БКЦ – быстродействующий коммутатор на основе циркулятора; АП – акустический преобразователь; Р – регистратор эхо-сигнала; ОИ – объект исследования; МС – механизм сканирования

Объект исследования ОИ закрепляется на специальном столике, приводимом в движение механизмом сканирования МС. Он позволяет осуществить грубый подвод ОИ к акустической линзе и сканирование ОИ по трем координатам. Акустический преобразователь АП представляет собой сапфировую линзу с напыленным на неё пьезопреобразователем, выводы которого образуют вход-выход АП. Если на эти выводы подаются электрические импульсы, пьезопреобразователь излучает плоскую волну, падающую на поверхности сапфировой линзы, которая превращает плоскую волну в сфокусированный пучок на поверхности ОИ или в приповерхностном слое. Глубина проникновения зависит от структуры ОИ и частоты ультразвуковых волн (чем выше частота, тем хуже их проникающая способность). Для зондирования исследуемого объекта используются короткие пакеты импульсов, вырабатываемых генератором радиочастоты ГР. Блок ГР построен на базе микросхемы-генератора Si570, которая позволяет изменять частоту несущих колебаний в широ-

ком диапазоне. Это дает возможность подобрать оптимальную частоту в зависимости от используемого акустического преобразователя АП и условий эксперимента. Формирователь импульсов ФИ представляет собой быстродействующий мультиплексор. Он формирует пакеты импульсов и передает их в блок БКК быстродействующего коммутатора на основе аналоговых ключей. Быстродействующий коммутатор БКК необходим для устранения перегрузки входа регистратора Р при передаче импульса зондирования от формирователя ФИ к акустическому преобразователю АП. Далее отраженные от ОИ ультразвуковые колебания через некоторое время попадают обратно на АП, преобразуются линзой в плоские волны, которые, падая на поверхность пьезопреобразователя, преобразуются им в электрические колебания, поступающие на вход регистратора эхо-сигнала Р. Регистратор имеет регулируемую задержку начала регистрации и позволяет вырезать время «прямого хода», а также производить временную селекцию отраженного сигнала для поиска интересующего объекта. Блоки ГР, ФИ, БКК, АП образуют передающую часть микроскопа, а блоки АП, БКК, Р – приемную. В каждой выбранной точке зондирования строятся акустические кривые. Перемещение от точки к точке производится механизмом сканирования МС. Параметры блоков ГР, ФИ, Р настраиваются на получение максимального «контраста», разрешающей способности, информативности в зависимости от целей эксперимента.

С целью упрощения САМ и повышения надежности его работы целесообразно быстродействующий коммутатор сигналов выполнить по схеме циркулятора БКЦ (рис. 1), построенного на базе быстродействующих операционных усилителей. Его особая архитектура позволяет проводить высокочастотные сигналы только в одну сторону. В данном случае это сигналы от ФИ к АП, а от АП к регистратору эхо-сигнала Р. Благодаря этому устройству нет необходимости в контроле перегрузки входа блока регистратора эхо-сигнала и быстродействующих переключателях, т. к. достаточно мощный сигнал от ГР физически нельзя передать к регистратору эхо-сигнала. Принцип работы БКЦ основан на соединении в кольцо цепочки из трех последовательно соединенных ОУ с согласованной нагрузкой и подборе их дифференциального усиления, а также коэффициентов деления входных аттенюаторов. При подаче сигнала на вход первого из любых двух последовательно соединенных ОУ циркулятора, на выходе первого ОУ формируется этот же сигнал, но другой полярности, и нулевой сигнал на выходе второго ОУ.

В предложенном акустическом микроскопе регистратор эхо-сигнала представляет собой SDR-приемник (англ. *Software-defined radio*, *SDR*), состоящий из программируемого оборудования с программным управ-

лением, который может быть настроен на произвольную полосу частот и принимать различные виды модулированного сигнала. Применение *SDR*-приемника позволяет снимать сигналы с БКЦ в динамическом диапазоне 100 dB. Ширина панорамы просмотра может достигать 3 МГц. Это позволяет получать сигналы не только на частоте несущей, а также смежные с ней частоты. Возможности программного обеспечения *SDR*-приемника позволяют записать как детектированный АМ сигнал, так и исходные сигналы. Использование *SDR*-приемника дает возможность получить более качественный эхо-сигнал (по сравнению с простым АМ-приемником) и записать его непосредственно в ПЭВМ. Высокая чувствительность приемника позволяет получать соотношение сигнал/шум до 100 дБ. Перемещение от точки к точке сканирования производится механизмом сканирования МС, снабженным приводами по координатам *X*, *Y* и *Z*, датчиками перемещения по этим координатам, и блоками управления приводами. ПЭВМ передает координаты для передвижения МС и тем самым формирует растр акустического сканирования объекта исследования ОИ.

Применение циркулятора дает возможность отказаться от первого К1 и второго К2 аналоговых ключей БКК. Физическая особенность циркулятора позволяет проводить сигнал в плечах только в одном направлении. Это позволяет увеличить помехозащищенность входа блока Р. Отсутствие переходных процессов во время работы циркулятора дает возможность также отказаться от стробирующего ключа. Независимость схемы циркулятора позволяет ему работать без внешних управляющих сигналов от контроллера. К недостаткам БКЦ следует отнести то, что построение циркулятора на основе быстродействующих операционных усилителей требует применения специализированных микросхем и прецизионных радиоэлементов. Блок БКК с аналоговыми ключами имеет более широкую номенклатуру применяемых элементов, что упрощает его изготовление.

В заключение следует отметить, что благодаря конструктивным и физическим особенностям, вариант акустического микроскопа с быстродействующим коммутатором на основе циркулятора позволяет получить более качественный эхо-сигнал и обеспечить заданные технические характеристики микроскопа.

Список литературы

1. *Маев, Р. Г.* Акустическая микроскопия. – М. : Торус Пресс, 2005. – 402 с.
2. *Кайно, Г.* Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. – М. : Мир, 1990. – 656 с.

3. *Шелковников, Е. Ю.* Особенности применения гибридного оптико-акустического микроскопа / Е. Ю. Шелковников, К. С. Ермолин // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : материалы науч.-техн. конф. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012.

УДК 681.586

Д. В. Злобин, канд. техн. наук, доцент
Д. Р. Гиззатуллин, студент
E-mail: sined2@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Разработка пьезопреобразователей крутильных волн для контроля длинномерных объектов

В разработанной на кафедре ПиМКК методике контроля длинномерных объектов (прутки, насосно-компрессорные штанги и т.п.) используется стержневая волна (мода S_0), в области минимального значения дисперсии. Дальнейшим развитием методики может стать использование в аппаратуре контроля крутильной волны. Преимуществами данного решения являются – возможность получения большого числа переотраженных импульсов, и соответственно использование контроля на многократных отражениях (поскольку крутильная волна обладает нулевой дисперсией), а также большая чувствительность крутильной волны к внутренним дефектам изделия [1, 2]. Для возбуждения данного типа волн был использован ЭМА преобразователь, представляющий собой магнит с размещенной на его поверхности обмоткой (рис. 1).

Конструкция размещается на торце объекта контроля, излучение осуществляется за счет контактного взаимодействия. Для решения задачи приема крутильной волны был разработан и испытан ряд оригинальных конструкций пьезопреобразователей. Их особенностью является применение для приема крутильной волны (являющейся по сути поперечной) обычной продольно-поляризованной пьезокерамики. Необходимость такого решения вызвана худшей доступностью поперечных пьезопластин ввиду более сложной технологии изготовления. Кроме

© Злобин Д. В., Гиззатуллин Д. Р., 2015

Работа выполнена в рамках проекта № 3.751.2014/К по государственному заданию Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годах в рамках проектной части проведения научно-исследовательских работ.

того, округлая поверхность объекта контроля может вызвать сложности в конструктивном обеспечении контакта поперечной пьезопластины.

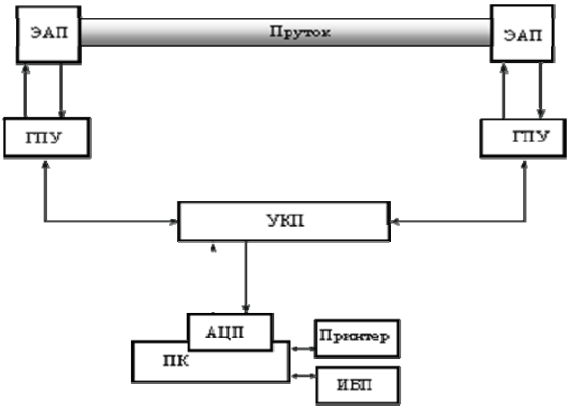


Рис. 1. Структурная схема дефектоскопа АДП: ЭАП – блок электроакустических преобразователей; ГПУ – блок генератора и предусилителя; УКП – блок программируемого усилителя, коммутации и источника питания; АЦП – плата аналого-цифрового преобразования; ПК – персональный компьютер **(ссылка)**

В конструкции, представленной на рис. 2, контактным элементом является стальная пластина *1* размером 10×14×2 мм, на боковые стороны которой крепятся два пьезоэлемента. Их крепление и демпфирование осуществляется стягиванием крепежным винтом *2* через непроводящие прокладки *3*. На верхней плоскости преобразователя размещается магнит *4*, обеспечивающий фиксацию датчика на объекте контроля. Пьезопластины электрически соединены последовательно таким образом, что сигнал крутильной волны суммируется, а сигналы помехи взаимно компенсируются. Испытания конструкции преобразователя показали его достаточно высокую эффективность (амплитуда сигнала порядка 70 мВ), резонансная частота – 25 кГц. Однако ввиду наличия в конструкции нескольких механически соединенных элементов длительность переходной характеристики преобразователя составила 4–5 периодов. Кроме того, существует необходимость повышения собственной частоты преобразователя в целях увеличения чувствительности к малым дефектом и сокращения мертвой зоны. Данные требования выполняются в конструкции преобразователя, показанной на рис. 3.

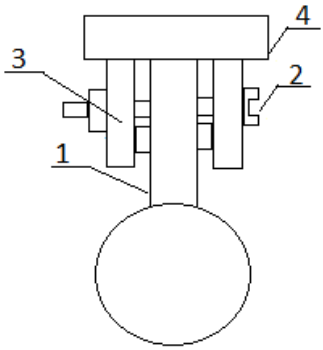


Рис. 2. Конструкция преобразователя с винтовым креплением пьезопластин

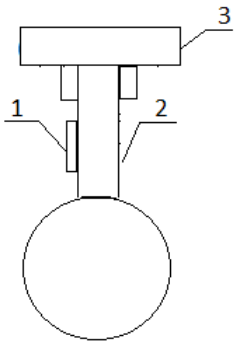


Рис. 3. Конструкция преобразователя с креплением пьезопластин пайкой

Для уменьшения числа конструктивных элементов пьезопластина *1* крепится непосредственно к основанию *2* (способ фиксации – пайка легкоплавким припоем). Контакт датчика с объектом осуществляется также за счет магнита *3*, расположенного на верхней грани основания. Данный вариант конструкции преобразователя обладает существенно более высокой резонансной частотой (порядка 50 кГц), малой длительностью переходной характеристики и значительно более высокой повторяемостью.

Обе конструкции характеризуются незначительным поглощением энергии, что позволяет получать длительные серии многократных отражений, значительно повышая чувствительность контроля, а также осу-

ществлять с высокой точностью измерение скорости и затухания крутильной волны в объекте контроля, используя их в качестве дополнительных информативных параметров [3].

Список литературы

1. Акустическая дефектоскопия прутков с использованием многократных отражений / Г. А. Буденков [и др.] // Дефектоскопия. – 2004. – № 8.– С. 52–58.

2. *Злобин, Д. В.* Особенности построения аппаратуры электромагнитно-акустической дефектоскопии пруткового проката с использованием стержневых волн / Д. В. Злобин, О. В. Муравьева // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та. – 2012. – № 4. – С. 99–104.

3. *Муравьева О. В.* Акустический тракт метода многократных отражений при дефектоскопии линейно-протяженных объектов / О. В. Муравьева, Д. В. Злобин // Дефектоскопия. – 2013. – № 1. – С. 43–51.

УДК 621.375

Д. В. Злобин, канд. техн. наук, доцент
Л. В. Гущина, студентка
E-mail: sined2@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Оптимизация приемно-усилительного тракта электронного фонендоскопа

Недостатками фонендоскопов, представленных на рынке, являются: использование воздушных микрофонов, акустические шумы, перегрузка усилительных трактов, использование звуководов, имитирующих звукоподводящие трубки классических фонендоскопов, которые не обеспечивают необходимый уровень комфорта [1, 2].

В целях преодоления указанных недостатков предлагается следующая концепция построения электронного фонендоскопа:

1. Использование в качестве приёмного преобразователя контактного датчика на основе пьезопреобразователя (ЗП – 2 или аналогичные), представленного на рис. 1.

© Злобин Д. В., Гущина Л. В., 2015

Работа выполнена в рамках проекта № 3.751.2014/К по государственному заданию Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годы в рамках проектной части проведения научно-исследовательских работ.

Рис. 1. Внешний вид приемного аускультационного преобразователя

2. Применение в качестве звукоизлучателей динамических головных телефонов закрытого типа, обеспечивающих более высокую степень комфорта и изоляции от внешних звуков. На данный момент на рынке представлено достаточно большое количество недорогих моделей подобных телефонов, обеспечивающих полноценное воспроизведение всего звукового диапазона.

3. Применение в усилительной части электронного фонендоскопа схемотехники, обеспечивающей минимальный уровень тепловых шумов в сочетании с достаточной полосой пропускания и высоким коэффициентом усиления. В связи с необходимостью батарейного питания требуется также минимизировать мощность, потребляемую прибором. Важным требованием к усилителю также должна являться минимизация схемы в сочетании с простотой изготовления и настройки. В этой связи представляется наиболее оптимальным следующая структура схемы: первый каскад выполнен на малошумящем дискретном усилительном элементе (биполярный транзистор или полевой транзистор), а дальнейшее усиление осуществляется операционным усилителем.

В [2] приведена одна из возможных схем, реализующих данный подход. Данная схема позиционируется авторами как малошумящая, причём её собственный шум настолько незначителен, что позволяет использовать её для исследования шумовых свойств p-n-переходов. Учитывая необходимость однополярного питания, а также некоторые специальные требования к АЧХ прибора, схема была несколько видоизменена, её окончательный вариант представлен на рис. 2.

Резисторы R1, R2 обеспечивают смещение рабочей точки до уровня, равного Uпит/2, C1 обеспечивает развязку входа по постоянному току, C4 препятствует проникновению постоянной составляющей на выход схемы. Режим работы транзистора VT1 жестко стабилизирован глубокой обратной отрицательной связью (ООС) с выхода операционного усилителя. Благодаря действию обратной отрицательной связи напря-

жение на коллекторе равно напряжению на неинвертирующем входе операционного усилителя, задаваемого делителем R4, R3 так что UК = UД. Ток коллектора также стабилизирован и определяется единственным резистором R2. Шумовые параметры этого усилителя зависят от тока эмиттера биполярного транзистора VT1, который изменяется резистором R2.

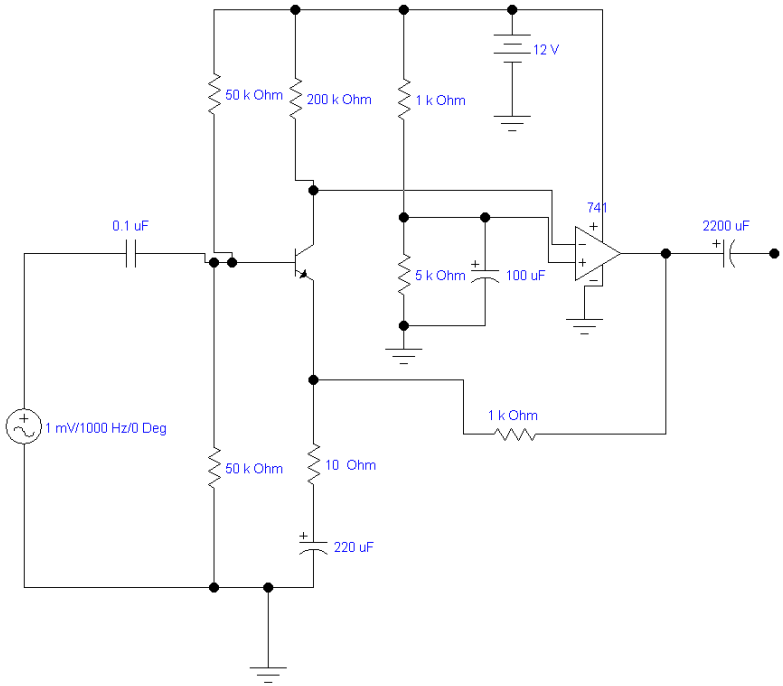


Рис. 2. Принципиальная схема усилительного тракта фонендоскопа.

Сравнение АЧХ производилось стандартным способом с использованием генератора ГСС-20 и цифрового осциллографа DS1102C, блок схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.

Результаты измерений приведены в табл.1.

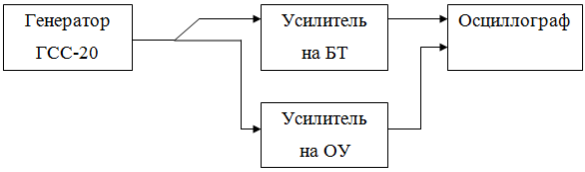


Рис. 3. Блок-схема экспериментальной установки
для сравнения АЧХ усилителей

Таблица 1. **АЧХ изготовленного и контрольного усилителей**

Тип схемы	$K_{усил}$ (дБ)	Верхняя граница АЧХ (кГц)
Усилитель на ОУ	46	65
Усилитель на БТ	46	370

Таким образом, ширина полосы частот разработанной схемы более чем в 5 раз шире, что позволяет использовать ее во многих других целях в качестве малошумящего усилителя.

Сравнение шумовых характеристик

Для измерения уровня шума входы обоих усилителей шунтировались перемычкой, полоса частот ограничивалась RC-цепью на уровне 20 кГц (звуковой диапазон), выходы поочередно подключились к осциллографу, включенному в режим измерения среднеквадратического значения.

Получены следующие результаты:

– шум схемы на ОУ составил $U_ш$ = 1,18 mV (рис. 4);

– шум схемы на БТ составил $U_ш$ = 0,431 mV (рис. 5).

Таким образом, предложенная схема обеспечивает в 3 раза лучшие шумовые характеристики, т. е. более высокую комфортность работы. В табл. 2 приведены полученные значения уровня шума, а также рассчитанная для полосы частот 20 кГц плотность шумового напряжения, приведенного ко входу.

Таблица 2. **Технические характеристики**

Тип схемы	$U_ш$, мВ	$U_ш$, приведенного ко входу, нВ/√Гц
Усилитель на ОУ	1,18	41
Усилитель на БТ	0,431	15

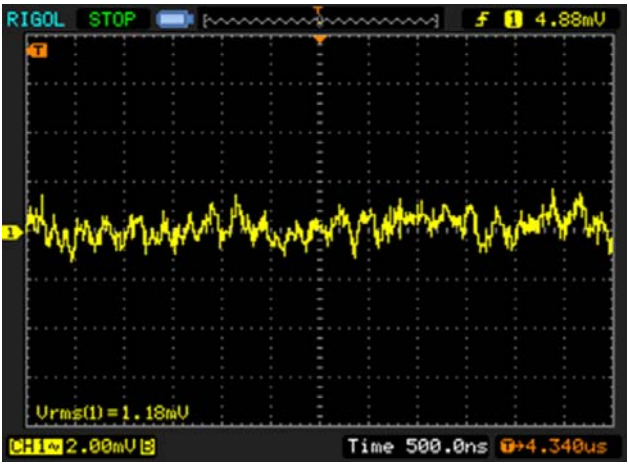


Рис. 4. Уровень шума схемы на ОУ

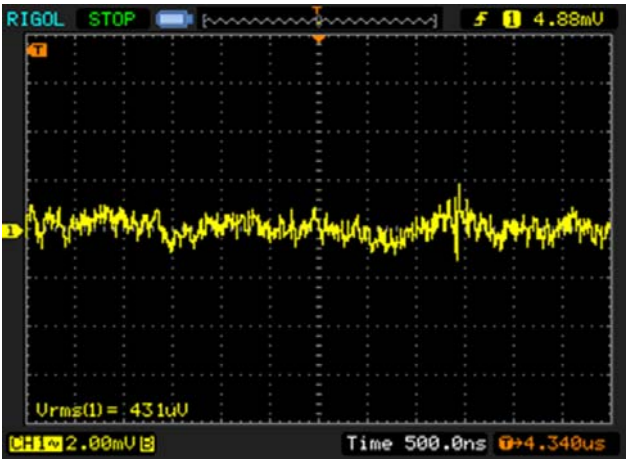


Рис. 5. Уровень шума схемы на БТ

Таким образом, результатом работы явились разработка и изготовление действующей модели усилителя, обладающего по сравнению со стандартными решениями на ОУ следующими преимуществами:

– значительно более низкий уровень собственных шумов, что позволяет использовать большие значения усиления, и тем самым повысить информативность аускультации;

– более широкая АЧХ, что позволяет применять данную схему во многих других приложениях (например, при построении аппаратуры неразрушающего контроля прутков);

– небольшое число элементов по сравнению с полностью дискретными решениями, соответственно меньшие габариты законченного решения;

– возможность непосредственной работы на головные телефоны с достаточной громкостью.

Список литературы

1. Фонендоскоп-стетоскоп электронный // Find patent. Патентный поиск. – URL: http://www.findpatent.ru/patent/217/2173538.html (дата обращения: 14.05.2015).

2. *Ежков, Ю. С.* Справочник по схемотехнике усилителей. – М. : Издат. предпр. «РадиоСофт», 2002. – 128 с.

УДК 61:061.2.4

Ю. Б. Камалова, инженер, аспирант
В. В. Муравьев, д-р техн. наук, профессор
E-mail: pmkk@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
А. А. Коновод, ведущий программист
ООО «Система»

Программа визуализации трехмерной векторэлектрокардиограммы

Работами ряда отечественных и зарубежных исследователей (таких, как М. И. Кечкер; В. И. Маколкин, В. С. Гасилин и О.П. Миронова, В. Ф. Сысоев, Э. А. Кянджунцева, М. Б. Тартаковский, Wolff, Donoso, Burch) установлено значение векторкардиограммы в диагностике желудочковой гипертрофии, обусловленной тем или иным ревматическим пороком сердца. Этот метод дает очень подробную качественную характеристику гипертрофированного сердца, выявляет степень гипертрофии.

Современные методы распознавания пиков на электрокардиограмме не обладают высокой точностью [1], вследствие чего их применение

© Камалова Ю. Б., Муравьев В. В., Коновод А. А., 2015

Работа выполняется в рамках регионального конкурса молодежных инновационных научно-технических проектов программы «У.М.Н.И.К.».

невозможно без анализа электрокардиограммы (ЭКГ) врачом в клинической практике.

Использование ВКГ существенно увеличило информационные и диагностические возможности ЭКГ. Однако на раннем этапе развития метод не получил должного распространения в клинической практике из-за сложностей в регистрации и последующей обработки результатов.

ВКГ применяют в кардиологических отделениях для уточненной диагностики некоторых блокад и нарушений ритма сердца, гипертрофии и гиперфункции предсердий (с помощью предсердной ВКГ), а также в научных исследованиях.

Ранее нами был разработан алгоритм обработки ЭКГ, позволяющий в автоматизированном режиме определять пики и интервалы ЭКГ нормы и синтезировать ВЭКГ с использованием данной информации [2]. На основе данного алгоритма при помощи программы на *Matlab* были получены доверительные интервалы информативных параметров ЭКГ и ВЭКГ для случая «нормы» [3].

Дальнейшим шагом стоял необходимость определения диагностического правила для различных типов патологий, т. е. для случаев неклассической ЭКГ. С этой целью была разработана программа для формирования достоверных диагностических правил для параметров ЭКГ и ВЭКГ различных патологий в среде *Delphi XE3* [4].

Принцип работы программы был основан на возможности ручной расстановки маркеров пиков в файле из базы данных оцифрованных ЭКГ с сайта *PhysioNet* [5] (рис. 1).

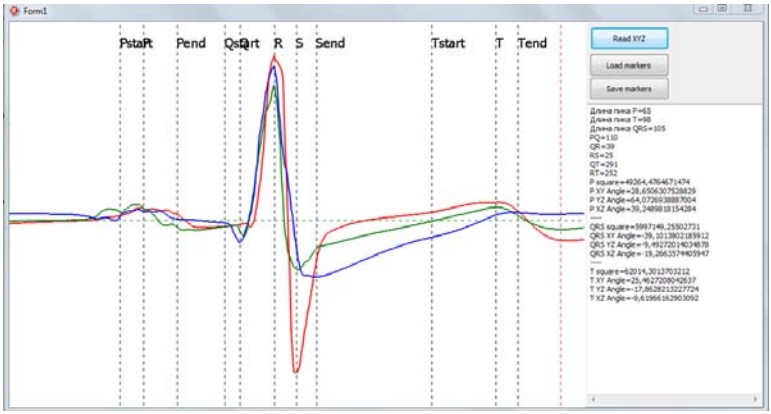


Рис. 1. Внешний вид программы корректировки координат пиков ЭКГ и расчета параметров ВЭКГ

Таким образом, нами был исследован способ, при котором векторэлектрокардиограмму (ВЭКГ) можно приближенно получить из сигналов стандартной ЭКГ при условии, что эти сигналы измерялись синхронно.

Современные электрокардиографы для векторкардиографии вводят синхронно электрокардиосигналы со всех электродов, оцифровывают их, а три компоненты вычисляют по формулам в компьютере (при помощи микропроцессора).

Очевидно, что измеренная ВКГ будет отличаться от ВКГ, синтезированной по стандартным отведениям [6]. Основная причина в отсутствии электрода сзади в стандартных отведениях.

Так, к основным недостаткам устройств, синтезирующих ЭКГ из ВКГ, относят:

1. Применение шести электродов для снятия ВКГ, без учета отведений, получаемых при помощи 7-го электрода (на шее со стороны спины): отсутствие возможности построения пространственной векторкардиограммы.
2. Наличие преобразователей напряжение-код, вносящих искажения, буферного запоминающего устройства, потребляющего много энергии; большие габариты и низкая надежность.
3. Синтез векторкардиограммы из электрокардиограммы и реэлектрокардиограммы: погрешность математической модели, что снижает точность диагностики.

К достоинствам разрабатываемого устройства относятся:

1. Реализация формул Франка (преобразователь на прецизионных резисторах), блок управления на основе микроконтроллера.
2. Математическое построение электрокардиографических отведений.

Но отличия в самих кривых не столь важны, как отличия в постановке диагноза по ним [7].

Для выявления этих отличий нами была разработана программа синтеза трёхмерной векторкардиограммы (рис. 2).

Разработанная на *Delphi XE3* программа позволяет получать информацию о положении и размере петель ВЭКГ отведений Франка .vx,.vy,.vz с сайта *PhysioNet*, снятых напрямую, а не синтезированных из ЭКГ (рис. 3, *а–в*).

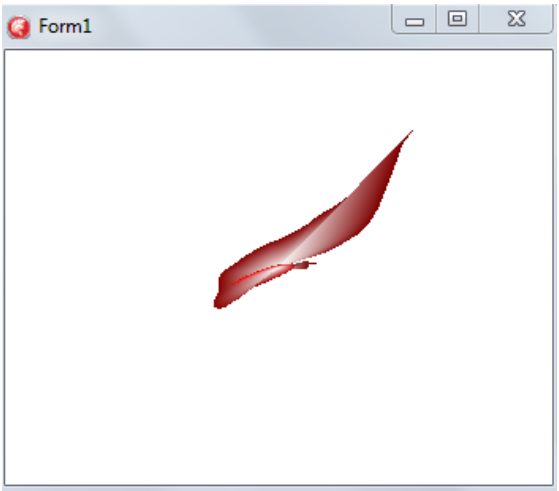


Рис. 2. Трехмерная визуализация ВЭКГ

а *б* *в*

Рис. 3. Визуализация трехмерных петель ВЭКГ для случая нормы (файл с базы данных *PhysioNet*)

Таким образом, была разработана программа для визуализации трехмерных петель ВЭКГ. Ноль определяется тем, что кардиограф принимает за ноль. В дальнейшем программа будет использована для визуализации топической диагностики нарушений сердечной деятельности при таких патологиях, как фибрилляция предсердий, гипертрофии желудочков, аритмии.

Список литературы

1. *Коробейников, А. В.* Математическое моделирование и интеллектуальные системы // Разбиение сигнала электрокардиограммы на циклы : сб. науч. тр. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2003. – 178 с.

2. А. с. № 2013616814 Российская Федерация. Анализ параметров электрокардиограммы и векторкардиограммы (ЭКГ и ВКГ) : свидетельство об офиц. регистр. программы для ЭВМ / Ю. Б. Камалова, В. А. Степанов ; заявитель и правообладатель фед. гос. бюдж. образоват. учр. Ижев. гос. техн. ун-т. – № 2013614495 ; заявл. 30.05.2013 ; зарегистр. 22.06.2013.

3. *Камалова, Ю. Б.* Разработка методики снятия и анализа векторэлектрокардиограммы // Интеллектуальные системы в производстве. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ. – 2013. – № 2(22). – С. 139.

4. *Камалова, Ю. Б.* Программа ручной корректировки координат пиков электрокардиограммы и расчета параметров вектор-электрокардиограммы / Ю. Б. Камалова, А. А. Коновод // Инновации в науке, технике и технологиях : Всерос. науч.-техн. конф. 28–30 апр. 2014 г. : сб. ст. – Ижевск : Изд-во «Удмуртский университет», 2014. – С. 84–87.

5. База данных кардиосигналов аритмий 12 отведений Санкт-Петербургского института кардиологических технологий им. Алмазова // PhysioNet. – URL : http://physionet.org/pn3/incartdb/ (дата обращения: 10.03.2012).

6. *Титомир, Л. И.* Комплексный анализ электрокардиограммы в ортогональных отведениях / Л. И. Титомир, И. Рутткай-Недецкий, Л. Бахарова. – М. : Наука, 2001. – 238 с.

7. Биофизические основы электрокардиографических методов / Л. И. Титомир [и др.]. – М. : Физматлит, 2009. – 224 с.

УДК 621.385.833

А. И. Кириллов, аспирант
Е. Ю. Шелковников, д-р техн. наук, зав. лабораторией
С. Р. Кизнерцев, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
E-mail: evshelk@mail.ru
Институт механики УрО РАН, г. Ижевск

Пьезоактюаторная установка информационно-измерительной системы для прочностных испытаний пломбировочных материалов

Основным блоком информационно-измерительной системы (ИИС) для прочностных испытаний композитных пломбировочных материалов является формирователь нагрузки, обеспечивающий изучение характеристик прочности и пластичности материалов при статических, повторно-переменных и импульсных нагрузках. В качестве формирователя нагрузки целесообразно использовать пьезоактюатор (ПА), который позволяет получать любой закон воздействия на объект исследования,

© Кириллов А. И., Шелковников Е. Ю., Кизнерцев С. Р., 2015

например, синусоидальный, пилообразный, трапецеидальный и др. [1,2]. На регистрируемые значения деформаций исследуемого образца и приложенной силы могут повлиять динамические микрозазоры и необратимые микродеформации (дефекты), которые возникают во время длительных испытаний образца при циклически изменяющейся нагрузке. Необходимо также отметить, что при работе ПА с большими нагрузками силовое воздействие может изменяться нелинейно относительно приложенного к ПА напряжения. Это зависит от физико-механических свойств образца, ПА и от особенностей конструкции пьезоэлектрической силовой установки для проведения испытаний. В связи с этим разработка системы автоматического управления пьезоактюатором для поддержания заданного закона воздействия на объект исследования является актуальной.

На рис. 1 приведена структурная схема разработанной системы с отрицательной обратной связью для поддержания заданного закона силового воздействия f(t).

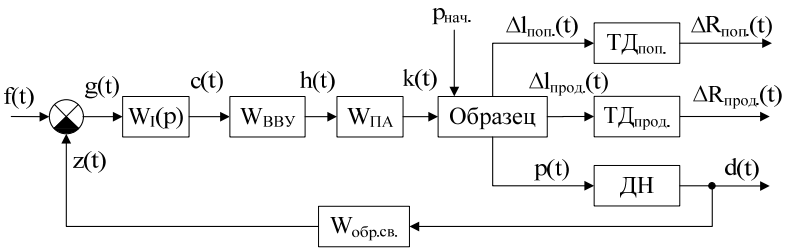


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического регулирования силового воздействия

Система автоматического регулирования силового воздействия работает следующим образом. На вход системы подается управляющий сигнал f(t), который может иметь любой заданный периодический закон (синусоидальный, треугольный и т. д.) с заданной частотой F для имитации возвратно-поступательных движений жевательного процесса. При рассогласовании входного сигнала f(t) и выходного z(t) возникает ошибка g(t). Для поддержания заданного силового закона воздействия на объект исследования необходимо интегрировать ошибку g(t). Передаточная функция интегрирующего звена может быть представлена в виде:

$$W_I(p) = \frac{K_I}{p}, \qquad (1)$$

где K_I – коэффициент пропорциональности.

Проинтегрированный сигнал c(t) усиливается на высоковольтном усилителе (ВВУ) с коэффициентом передачи $W_{ВВУ}$. Выходное напряжение h(t) ВВУ определяется по формуле:

$$h(t) = W_{ВВУ} \cdot c(t). \tag{2}$$

Под действием приложенного напряжения пьезоактюатор удлиняется или сжимается согласно выражению

$$k(t) \approx W_{ПА} \cdot h(t). \tag{3}$$

Следует отметить, что величина перемещения k(t) рассчитывается согласно (3) для холостого хода ПА. Согласно рис. 2 при удлинении или сжатии ПА соответственно сжимаются или удлиняются образец с установкой. При этом сила, которую развивает ПА, определяется согласно [3] по формуле

$$p(t) = \Delta F_{ПА} + p_{нач} = k(t) \cdot K_E \cdot [1 - \frac{K_E}{K_E + K_L}] + p_{нач}, \tag{4}$$

где K_E – жесткость ПА; K_L – жесткость образца с установкой; $p_{нач}$ – начальная постоянная нагрузка для выборки люфтов и зазоров конструкции; $\Delta F_{ПА}$ – сила, развиваемая ПА.

На рис. 2 приведена схема рассмотренной пьезоактюаторной системы, состоящая из ПА и двух эквивалентных упругих пружин $П_{обр}$, $П_{уст}$, зажатых между двумя неподвижными опорами 1, 2 с бесконечно большой жесткостью.

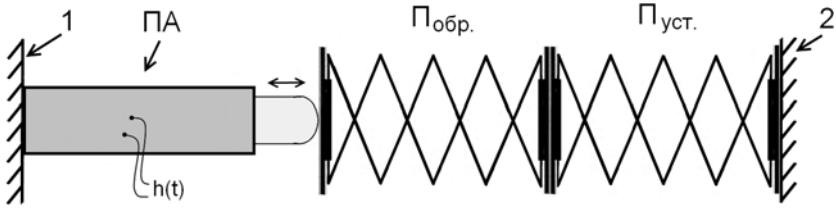


Рис. 2. Схема пьезоактюаторной системы

Под действием силы p(t) объект исследования деформируется. Для регистрации полученной информации используются фольговые продольный ($ТД_{прод.}$) и поперечный ($ТД_{поп.}$) тензодатчики (ТД). Согласно формуле (5) ТД преобразуют перемещение Δl в изменение сопротивления ΔR:

$$\Delta R = K_{\text{ТД}} \cdot R \cdot \frac{\Delta l}{L_{\text{базы}}}, \tag{5}$$

где $K_{\text{ТД}}$ – коэффициент тензочувствительности; R – исходное сопротивление ТД; $L_{\text{базы}}$ – длина базы ТД.

Датчик нагрузки (ДН) с коэффициентом передачи $W_{\text{ДН}}$ преобразует приложенную силу p(t) в электрический сигнал d(t):

$$d(t) = W_{\text{ДН}} \cdot p(t). \tag{6}$$

Выходная информация системы (ΔR и d(t)) передается в сигнальный процессор ИИС для дальнейшей обработки.

В разработанной ИИС для интегрирования используется интегратор на операционном усилителе (ОУ). В этом случае формулу интегрирования с использованием (1) можно записать в следующем виде:

$$c(t) = K_I \cdot \int_0^{\infty} g(t) \cdot dt + c(0), \tag{7}$$

где c(0) – начальное напряжение на интеграторе; $K_I = -\frac{1}{\tau_{\text{инт}}} = -\frac{1}{R \cdot C}$ – коэффициент пропорциональности; $\tau_{\text{инт}}$ – постоянная времени интегрирования; R и C – номиналы сопротивления и емкости.

При выборе постоянной времени интегратора $\tau_{\text{инт}}$ следует учитывать, что если она будет достаточно малой, то в системе могут начаться автоколебания ПА (и это может привести к его выходу из строя). При увеличении значений $\tau_{\text{инт}}$ обратная связь становится «медленней», и интегратор может начать «срезать» заданную частоту сигнала f(t).

Верхнее значение $\tau_{\text{инт}}$ определяется для АЧХ системы с идеализированными линейными звеньями ВВУ, ПА, образца и ДН:

$$\tau_{\text{инт}} \le \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot F_{\text{макс}}} \cdot \sqrt{\left(\frac{A}{C}\right)^2 - 1}, \tag{8}$$

где $F_{\text{макс}}$ – максимальная частота задающего сигнала f(t); A – амплитуда сигнала f(t) на входе системы; C – амплитуда сигнала c(t) на выходе интегратора.

На практике для расчета (8) можно использовать следующее равенство:

$$\text{C} \approx 0{,}95 \cdot \text{A}. \tag{9}$$

Нижнее значение $\tau_{\text{инт}}$ (зависящее от физико-механических свойств ПА и образца) определяется эмпирически при переводе системы в режим автоколебаний.

В целом разработанная система автоматического управления пьезоактюатором для поддержания заданного закона силового воздействия f(t) на исследуемый образец имеет достаточное быстродействие при правильном выборе $\tau_{инт}$ согласно (8). Можно отметить, что при использовании интегратора на ОУ, результат интегрирования будет ограничен сверху и снизу напряжением питания ОУ. Это позволяет исключить применение дополнительных ограничителей сигнала для управления пьезоактюатором. Определение зависимости развиваемого силового воздействия от удлинения пьезоактюатора позволяет осуществить моделирование системы с целью проверки ее работоспособности (например, при разных частотах и формах сигнала и т. д.).

Список литературы

1. Пат. № 114843 Российская Федерация ; МПК A61C19/04. Устройство для прочностных испытаний пломбировочных материалов и пломб дефектных зубов / Ю. Н. Наймушин, Т. Л. Рединова, А. И. Кириллов и др. ; опубл. 20.04.2012 ; бюл. № 11.
2. Установка с силовым пьезоэлектрическим преобразователем для исследования прочностных характеристик пломбировочных материалов / Е. Ю. Шелковников [и др.] // Ползуновский вестник – 2013. – № 2. – С. 96–99.
3. *Панич, А. Е.* Пьезокерамические актюаторы : учеб. пособие. – Ростов н/Д, 2008. – 153 с.

УДК 681.5.08

В. А. Колясев, мл. науч. сотр.
А. Г. Копытов, ведущий электроник
С. М. Молин, канд. техн. наук, доцент
E-mail: gep@ftiudm.ru
Физико-технический институт Уральского отделения РАН, г. Ижевск

Защита электронных компонентов РЭА при широкополосном ударном нагружении

Актуальность в современных условиях

По мере роста требований к компактности и мобильности различных радиоэлектронных средств управления и измерения растут и требования устойчивости РЭА к различного рода внешним воздействиям и, в частности – к высокоинтенсивным механическим ударам. Если учесть то,

© Колясев В. А., Копытов А. Г., Молин С. М., 2015

что некоторые специальные применения ставят еще и задачу максимально безотказного функционирования на этапе жизненного цикла, то актуальность надежного решения задачи защиты РЭА возрастает многократно.

Новизна по сравнению с существующими аналогами

При определении ударной и вибрационной устойчивости объектов электронного оборудования в первую очередь оцениваются уровни взаимного перемещения и деформации компонентов изделия. Имеются хорошо проработанные методики, развитый математический аппарат и расчётные модели, однако только в низкочастотном диапазоне, где имеются значительные смещения компонентов и узлов, деформации элементов конструкции. В первом приближении можно говорить именно об устойчивости к деформациям и смещениям. Но жёсткие ударные воздействия характеризуются, как правило, значительно более широким частотным спектром и вопросам распространения и воздействия высокочастотной компоненты, к сожалению, не всегда уделяется достаточно внимания. Многие демпфирующие элементы конструкции при достижении критической частоты, определяемой скоростью звука, длиной волны и их размерами, превращаются в устройства, способные передавать ультразвуковые возмущения к компонентам электронных схем, что может приводить к их выходу из строя.

На рис. 1 представлена схема эксперимента, демонстрирующего способность вязкоупругих демпфирующих прокладок передавать высокочастотные колебания.

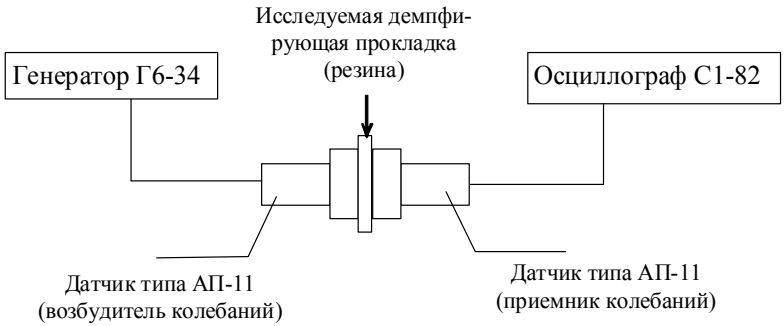


Рис. 1. Прохождение ультразвуковых колебаний через резиновую прокладку

На рис. 2 представлена модель прохождения низкочастотных и высокочастотных ультразвуковых (УЗ) составляющих ударного воздействия. L1, R1 и C1 представляют собой механический низкочастотный фильтр,

образованный массой приёмника и жёсткостью резиновой прокладки. C2 и R2 имитируют акустический канал прохождения ультразвуковых колебаний. Суммарная амплитудно-частотная характеристика такой системы представлена на рис. 3.

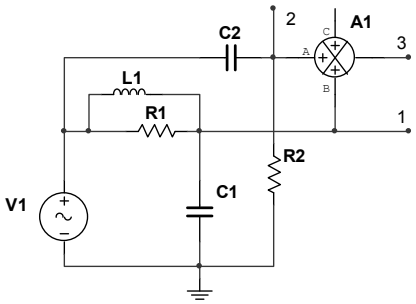


Рис. 2. Эквивалентная модель прохождения высокочастотных составляющих

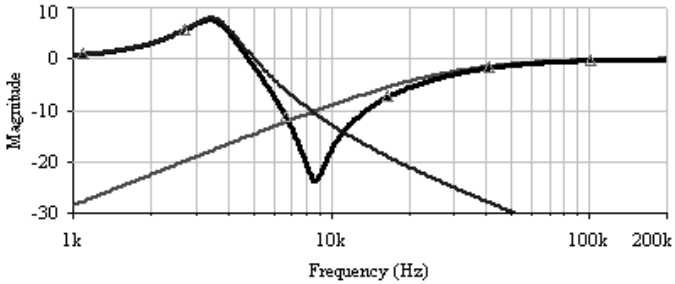


Рис. 3. АЧХ демпфирующей системы с учётом акустической составляющей

Один из датчиков используется как возбудитель колебаний, другой – в качестве приёмника. Когда длина волны в материале прокладки становиться соизмеримой с её диаметром, начинается интенсивное прохождение колебаний от возбудителя к приёмнику [1]. С ростом частоты демпфирующая прокладка превращается в уплотнитель, предназначенный для более надёжной передачи воздействия, чем для его подавления и защиты соответствующих элементов. С увеличением толщины прокладки уровень передаваемого сигнала практически не снижается.

Существо предлагаемого продукта

При создании электронной техники, компоненты которой подвергаются существенным механическим воздействиям [2], необходимо суще-

ственно расширить рассматриваемый диапазон частот в области высокочастотных колебаний и уделять повышенное внимание защите компонентов электронных схем от ультразвукового воздействия. Мощность ультразвуковых колебаний, распространяемых в материалах элементов конструкции, пропорциональна квадрату частоты, и поэтому может быть очень велика [4]. При этом необходимо учитывать низкочастотную составляющую удара, создающую давление на приёмники воздействий. Именно таким образом реализуются идеальные условия для «ультразвуковой обработки материалов». Действительно, если принять во внимание наличие технологий ультразвуковой обработки материалов (сварки, резки, сверления, долбления) и условий обеспечения необходимых для её проведения воздействий, то из этого следует выделить приложение статического усилия (НЧ-воздействие) и генерацию УЗ-колебаний при помощи, например, ударного воздействия.

Для обеспечения полной достоверности экспериментальных исследований необходимо обеспечить наиболее близкие условия воздействия на демпфирующий материал, а именно:

– обеспечить статическое сжатие;

– обеспечить динамическое сжатие (ударное движение);

– приложить УЗ-воздействие

Для этого в один из разработанных авторами удароустойчивых регистраторов [2] был встроен пьезоэлектрический акселерометр, и параметры демпфирования УЗ-сигналов снимались в условиях реальных натурных экспериментов.

Результаты экспериментов представлены на рис. 4.

Область применения и ожидаемые результаты практического использования

Предлагаемые методы защиты с использованием закрытоячеистых пенополиолефинов были использованы в серии регистрирующей аппаратуры, предназначенной для метрологического обеспечения ударных испытаний объектов техники. Эти методы могут быть использованы для надёжной защиты электронных компонентов новой техники специального назначения, предназначенной для работы в жёстких условиях.

Выводы

Для обеспечения надёжного функционирования электронных изделий в условиях интенсивных ударных нагрузок необходимо учитывать весь частотный спектр воздействия

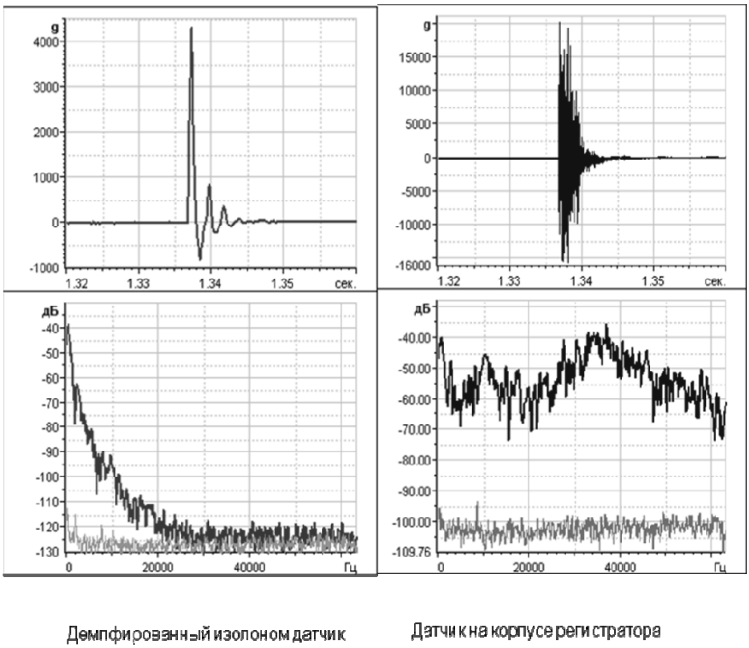


Рис. 4. Результаты натурных испытаний

Наличие демпфирующих прокладок далеко не всегда способно защитить электронные компоненты схемы от повреждающих воздействий в области УЗ-диапазона частот. Более того, многие материалы и изготовленные из них амортизаторы, существенно снижающие разрушительные воздействия в диапазоне частот 200–2000 Гц, превращаются в уплотняющую прокладку для более интенсивной передачи частотных воздействий выше 10–20 кГц.

Безусловно, система защиты имеет много уровней и технических решений, но главным отличием изготовленной нами аппаратуры от аналогов следует считать применение эффективного демпфирования ультразвуковых составляющих, сопровождающих ударное воздействие.

Таким образом, актуальной на сегодняшний день является задача исследования возможностей широкополосного гашения динамических воздействий на элементы РЭА закрытоячеистыми пенополиолефинами или другими материалами с ярко выраженными широкополосными демпфирующими свойствами.

Список литературы

1. *Леньков,С. В.* Анализ колебаний сейсмической массы на вязком основании под действием переносного ускорения / С. В. Леньков, В. А. Колясев // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки образования и производства : тр. науч.-техн. конф. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2001. – С. 205–210.

2. Комплекс аппаратуры «Сигма-Парус» для регистрации ударных сигналов / С. В. Леньков [и др.] // Авиакосмическое приборостроение. – 2007. – № 9. – С. 54–58.

3. Автономный бортовой регистратор ударных сигналов с повышенной достоверностью и устойчивостью к внешним воздействиям / С. М. Молин [и др.] // Авиация и космонавтика – 2005 : тез. докл. 4-й Междунар. науч.-техн. конф (10–13 окт. 2005 г.). – М. : МАИ, 2005.

4. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В. Н. Хмелев [и др.]. – Бийск : Изд-во Алтайск. гос. техн. ун-та им. И. И. Ползунова, 2010. – 172 с.

УДК 620.17:658.56

В. А. Кузнецова , аспирант
В. В. Муравьев, д-р техн. наук, профессор
E-mail: vklynch@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Надежность танталовых чип-конденсаторов на стадии изготовления в зависимости от качества материалов

Надежность – это свойство конденсаторов, характеризующее способностью выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах. Надежность является комплексной характеристикой [1, 2], которая в зависимости от назначения конденсатора и условий его эксплуатации может включать показатели безотказности (минимальная наработка $T_{мн}$, ч, интенсивность отказов λ, 1/ч) и сохраняемости (срок сохраняемости Tc, г) в определенном их сочетании. При решении проблемы прогнозирования надежности танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов, существует необходимость проведения исследований

© Кузнецова В. А., Муравьев В. В., 2015

Работа выполнена в рамках проекта № 3.751.2014/К по государственному заданию Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годы в рамках проектной части проведения научно-исследовательских работ.

характеристик конденсаторов во время эксплуатации и хранении с целью выявление «узких мест» при разработке и производстве.

К основным характеристикам танталовых чип-конденсаторов относятся электрические параметры [3]:

– емкость C;

– тангенс угла диэлектрических потерь tgδ;

– ток утечки $I_{ут}$;

– эквивалентное последовательное сопротивление $R_{экв}$.

Известно, что основной цикл изготовления танталовых чип-конденсаторов состоит из 15 основных операций (рис. 1).

Рис. 1. Блок-схема изготовления танталовых чип-конденсаторов

Было проведено изучение зависимостей изменения средних значений электрических параметров танталовых чип-конденсаторов экспериментальной выборки от времени испытания (эксплуатации) $T_и$. При анализе характеристик экспериментальной выборки танталовых чип-конденсаторов выявлено, что наиболее существенный рост значений относительно первоначальных наблюдается у параметра $I_{ут}$ (рис. 2). Поэтому выбираем параметр $I_{ут}$ как критический.

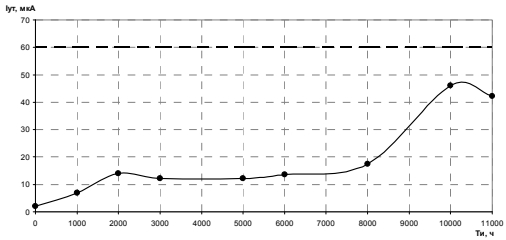


Рис. 2. Изменение тока утечки конденсаторов от времени испытания

Был проведен статистический анализ параметра $I_{ут}$. Для этого построены кривые распределения значений тока утечки танталовых оксидно-полупроводниковых конденсаторов от времени испытаний. Анализируя кривые распределения значений $I_{ут}$, представленные на рис. 3, наблюдаем, что при 5 000 часов и 6 000 часов происходит смещение нормального распределения параметра в связи с протеканием внутренних процессов танталовых чип-конденсаторов, связанных с особенностями материалов [4]. Также можно наблюдать, что резкое увеличение значения $I_{ут}$ происходит с 10 000 часов, и, соответственно, отказ конденсаторов по данному параметру (штриховая линия на рисунке – уровень допустимого значения тока утечки конденсаторов во время эксплуатации).

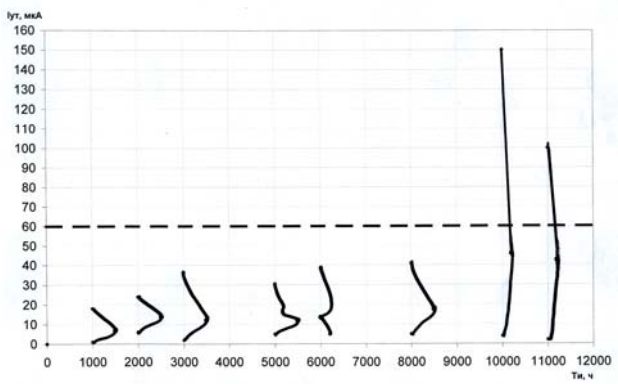


Рис. 3. Кривые распределения тока утечки конденсаторов во времени

Из полученных результатов проведенного исследования можно сделать заключение, что для предотвращения непрогнозируемого ухода параметров танталовых чип-конденсаторов, в нашем случае $I_{ут}$, и увеличения его стабильности, необходимо дополнительное исследование влияния качества материалов, используемых при производстве, на длительную безотказность.

Для решения поставленной задачи (улучшения стабильности $I_{ут}$, конденсаторов) наиболее важным требованием при производстве конденсаторов является создание надежного электрического контакта между анодным выводом и объемно-пористым танталовым телом анода (рис. 4).

Были проведены исследования влияния качества танталового вывода путем оценки качества сцепления вывода анода с анодной таблеткой на токи утечки танталовых чип-конденсаторов непосредственно в процессе изготовления. Для экспериментов были взяты три партии (варианта)

анодных выводов разных изготовителей. Результаты изготовления представлены на рис. 5.

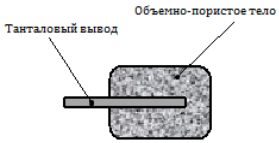


Рис. 4. Танталовый анод чип-конденсатора в разрезе

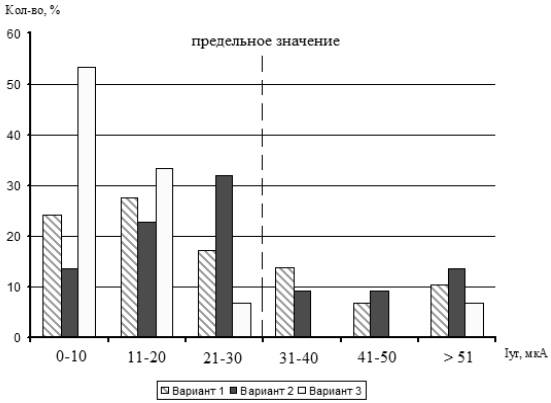


Рис. 5. Диаграмма распределения токов утечки при разных вариантах изготовления анодов

В результате выполнения данного исследования выявлена связь качества танталового вывода (материала) на эксплуатационный параметр танталовых чип-конденсаторов (надежность). Определен показатель качества танталового вывода – минимальное усилие сцепления $F_{сц}$ анодной таблетки с танталовым выводом (таблица).

Данные по спеченным анодам

№ варианта	$F_{сц}$, Н
1	46,4
2	27
3	36,7

Минимальное усилие сцепления должно составлять не менее 30 Н, что подтверждается значениями тока утечки конденсаторов (рис. 5).

Для потверждения влияния качества материалов на токи утечки танталовых чип-конденсаторов было проведено исследование влияния качества материала корпуса (пресс-материал) на токи утечки конденсаторов.

Корпус танталовых чип-конденсаторов создается путем опрессовки выводных рамок с посажеными секциями с использованием таблеток в форме цилиндра из пресс-материала на установке опрессовки. Пресс-материал представляет собой твердый термореактивный полимерный материал, содержащий эпоксидную смолу.

Опрессовка секций конденсаторов, изготовленных по одной стандартной технологии, посаженных на выводную рамку, проводилась с использованием двух партий: партия № 1 – некачественная партия пресс-материала; партия № 2 – качественная партия пресс-материала.

Распределения значений $I_{ут}$, конденсаторов в партиях и их изменения приведены на гистограмме (рис. 6).

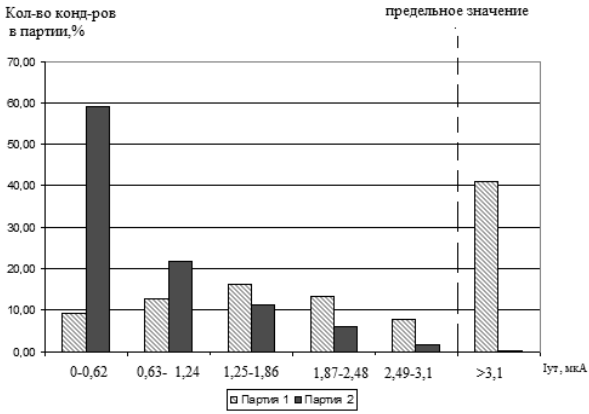


Рис. 6. Диаграмма распределение тока утечки в партиях

Анализ полученных результатов показывает, что качество корпуса двух партий значительно влияет на ток утечки конденсаторов.

Можно подвести следующий итог: качество исходных материалов при изготовлении танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов оказывает существенное влияние на их надежность.

Поэтому важным моментом в производстве танталовых электролитических конденсаторов является определение критериев качества исходных материалов, влияющих на надежность изделий при эксплуатации.

Список литературы

1. *Кузнецова, В. А.* Исследование надежности танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов на основе экспериментальных данных / В. А. Кузнецова, П. Л. Кузнецов, В. В. Муравьев // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 3(59). – С. 88–91.
2. *Беляева, Е. А.* Исследование влияния срока сохраняемости на эксплуатационные характеристики и состояние объемно-пористых танталовых конденсаторов / Е. А. Беляева, В. А. Кузнецова, В. В. Муравьев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1. – С. 96–99.
3. *Кузнецов, П. Л.* Комплексный подход к обеспечению качества при производстве электролитических конденсаторов и ионисторов / П. Л. Кузнецов, В. А. Кузнецова // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке [Электронный ресурс] : сб. тр. II Всерос. науч.-техн. конф. асп., магистрантов и молодых ученых с междунар. участием (Ижевск, 23–25 апреля 2013 г.). – Электрон. дан. (1 файл : 39,3 Мб.). – Ижевск, 2013. – 1415 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Acrobat reader 6.0 и выше.
4. Исследование влияния на эксплуатационные характеристики качества материалов танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов. / В. А. Кузнецова [и др.]. – Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 140–143.

УДК 378 (045)

В. С. Кулябин, канд. экон. наук
П. А. Грозных, аспирант
E-mail: polina_au@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Инновационная система подготовки кадров для ОПК

В ряде промышленно развитых регионах за последние 20 лет появился дисбаланс между предприятиями оборонно-промышленного комплекса (ОПК) и отраслевой наукой. Исторически сложилось так, что предприятия проектировались и создавались как серийные заводы, призванные производить сложную наукоемкую продукцию. Разработчиками этой продукции и создателями конструкторской документации выступали крупные отраслевые научно-исследовательские центры городов Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Красноярска и других. Для сопровождения производства на каждом предприятии создавались конструкторские бюро. Такое разделение труда вполне соответствовало

© Кулябин В. С., Грозных П. А., 2015

централизованной плановой экономике. На предприятиях ОПК сформировались высококвалифицированные коллективы инженерных кадров, способные освоить производство изделия любой сложности, а при необходимости провести его частичную модернизацию. Однако специальная профильная подготовка научных кадров в этих организациях не велась: научный кадровый потенциал создавался в технических высших учебных заведениях, расположенных в том же городе, что и само предприятие, это часто не учитывало специфику предприятий.

В результате кардинальных изменений в экономике страны, произошедших за последние годы, ряд предприятий ОПК были акционированы, отраслевые научно-исследовательские центры пришли в упадок. Поэтому предприятия вынуждены силами собственных конструкторских бюро пытаться разрабатывать новую продукцию. Поскольку научных кадров на предприятиях практически нет, то уровень таких разработок оставляет желать лучшего. В силу ограниченности финансирования НИОКР на привлечение научного потенциала вузов предприятия идут крайне неохотно.

Изменения в экономике и системе профессионального образования России привели к серьезным проблемам в области подготовки специалистов для предприятий оборонных отраслей:

– отмена централизованного государственного распределения специалистов;

– уменьшение государственного задания на места с бюджетным финансированием на инженерных специальностях;

– практическое отсутствие бюджетного заказа для вузов на выполнение научных исследований в интересах предприятий оборонного комплекса;

– старение профессорско-преподавательского состава в технических вузах и инженерных кадров на оборонных предприятиях и в организациях.

Одним из путей повышения качества университетского технического образования является целевая подготовка кадров для отраслей промышленности региона. Реализация такого подхода требует системного взаимодействия предприятий региона и университета на всех стадиях учебного процесса.

Необходимо выделить ряд важнейших элементов организации целевого обучения:

1. Маркетинг рынка труда и определение потребности и перечня направлений подготовки.

2. Формирование и согласование учебных планов и компетенций по выбранным направлениям подготовки.

3. Совершенствование методической, лабораторной и производственной базы университета и предприятий для качественного обеспечения процесса.

4. Организация практик и стажировок на предприятиях региона, а также на ведущих предприятиях России в данной отрасли промышленности.

5. Обеспечение информационного сопровождения учебного процесса для ознакомления с передовыми технологиями и техникой за рубежом и в России.

6. Выполнение обучающимися реальных курсовых проектов, бакалаврских работ и магистерских диссертаций по заданиям предприятий с оплатой работ, приносящих технический или экономический эффект для предприятий.

7. Создание условий трудоустройства выпускников университетов на предприятиях региона соответствующей отрасли.

Одним из самых действенных механизмов является инновационная система непрерывной многоуровневой профессиональной подготовки кадров, в основе которой выстроенная в вузах образовательная вертикаль:

Школа → СПО → ВПО → Послевузовское образование →
→ Дополнительное образование.

Главная особенность развития многоуровневого образования в структуре университета – реальная возможность координации через выпускающие кафедры вуза учебных планов разных уровней, разработки сквозных сопряженных планов, начиная от предпрофильной и профильной подготовки, начального, среднего профессионального образования и заканчивая высшим и послевузовским образованием по все расширяющемуся числу специальностей и направлений. Учение через всю жизнь означает возможность выбора своего пути (согласно способностям и возможностям) школьником, студентом на любом этапе обучения. Это позволяет затрачивать меньше средств на коррекцию в вузах ошибок ранних ступеней обучения, а специалист, кроме знаний, навыков и умений, приобретает компетенции, которые позволят ему без долгой адаптации реализовать себя на производстве.

Стратегическое партнерство вуза с предприятиями-работодателями возможно на основе эффективного механизма их взаимодействия, обеспечивающего системное функционирование всего комплекса структурных элементов такой системы. Важнейшими элементами являются удовлетворение кадровой потребности и разработка инновационной техники и технических решений за счет привлечения студентов и аспирантов к выполнению НИР и ОКР по заказам предприятий и научно-

техническое сотрудничество по совместной реализации проектов, связанных с выполнением научно-исследовательских работ. Эффективность значительно возрастает в результате взаимной интеграции и образования единой многофакторной и динамично развивающейся системы.

Необходимо от отдельных договоров и соглашений с предприятиями переходить к практике создания учебно-научных производственных комплексов в виде инновационных структур, технопарков, центров коллективного пользования, базовых кафедр, студенческих конструкторско-технологических бюро и т. п. Это позволит решать совместно стоящие перед предприятиями оборонного комплекса и вузами задачи, используя материальную базу предприятий, научный и кадровый потенциал вуза. Здесь появится возможность создать и отработать нормативно-правовую базу, которая позволила бы регулировать отношения между предприятиями, вузами и молодыми специалистами, определять источники финансирования.

В решении вопроса по созданию таких комплексов важна согласованность всей системы власти – от федерального уровня до уровня регионов и руководителей вузов и предприятий, правовое обеспечение и многоканальное финансирование.

Рациональным выходом из сложившейся ситуации может стать создание научно-исследовательских центров и технопарков в непосредственной близости от производства. Главной задачей подобных центров должно стать объединение научных и инженерных сил региона для формирования, реализации и координации технической политики родственных по профилю предприятий региона. Такой подход обеспечит создание благоприятных условий для инновационного развития машиностроительных предприятий ОПК.

Наличие перечисленных элементов инфраструктуры в университете позволяет вести подготовку специалиста с включением его в исследовательскую программу, технологический или конструкторский цикл. Это предопределяет его развитие не только в области теоретических знаний, освоения современной техники и технологии, но и способствует привитию необходимых навыков работы в команде, стремлению к совершенствованию, научным исследованиям и карьерному росту.

Интеграция науки и образования на современном этапе имеет тенденцию к дальнейшему развитию и усилению, в том числе за счет «углубленной» непрерывной научно-исследовательской подготовки обучающихся в системе высшего и послевузовского профессионального образования.

УДК 378.146

Н. В. Москвин, студент
Т. А. Халтурина, ст. преподаватель
В. А. Стрижак, канд. техн. наук, доцент
E-mail: mikta93@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Оценка качества выборки тестовых заданий

В современном обществе, и в высших учебных заведениях в частности, все более популярным становится отказ от классического способа приема зачета либо экзамена. Вместо привычных устных ответов и «ручных» расчетов преподаватели переходят на тестовый режим сдачи экзамена, зачета с использованием персонального компьютера (ПК) [1–4].

У тестового режима приема экзаменов на ПК есть очевидные плюсы:

– наличие возможности анализировать результаты тестов;

– предоставление студенту вариантов ответа на тот или иной вопрос;

– возможность максимально рассмотреть все вопросы, темы, разделы того или иного предмета;

– количество вопросов, из которых происходит выборка, может быть значительно или неограниченно большим;

– максимальная наглядность.

Выборка заданий из общего количества вопросов теста должна распределяться случайным образом. Анализ равномерности распределения выборки вопросов тестового программного продукта является важным критерием качества программного продукта, используемого при тестировании.

Описание программного продукта

На кафедре ПиМКК тестирование организовано с использованием оригинального программного продукта «Аттестационная программа контроля промежуточных и итоговых результатов», разработанная на кафедре ПМКК ИжГТУ им М. Т. Калашникова.

Выборка вопросов производится из ранее заготовленного файлового документа (*Microsoft Word*, Блокнот) случайным образом, в зависимости от нужного количества выборки из общего банка вопросов.

Тестирование производится с лимитом времени, в зависимости от уровня сложности и общего количества вопросов. По завершении тести-

© Москвин Н. В., Халтурина Т. А., Стрижак В. А., 2015

Работа выполнена в рамках проекта № 3.751.2014/К по государственному заданию Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годы в рамках проектной части проведения научно-исследовательских работ.

рования выдается результат в процентном соотношении правильных и неправильных ответов. Результаты тестирования сохраняются.

Особенности работы программы

При загрузке теста формируется комплект вопросов по каждой теме. Последовательность выбора тем при тестировании не имеет ограничений. К любой теме можно вернуться в любой момент. Для экзаменуемого тема является либо ограниченным фрагментом курса или независимой дисциплиной при междисциплинарном испытании.

На рис. 1 изображено диалоговое окно проведения теста. На экране отображено количество вопросов, оставшееся время, текст вопроса и варианты ответов. В зависимости от типа вопроса варьируется количество правильных ответов – 1 или несколько. По завершении тестирования нажимается кнопка «Закончить тест». Особенностью организации материала при тестировании является возможность создания групп вопросов в рамках одной темы (дисциплины). Например, Дисциплина 1, группа вопросов 1, вопрос 10. Это позволяет осуществлять балансировку тестового материала по сложности, охвату разных фрагментов дисциплины, синтезировать неповторяющиеся последовательности. На рис. 1 первый вопрос теста выбран случайно из случайной группы. Если количество групп вопросов совпадает с количеством вопросов в тесте одной темы (дисциплины), то тестируемый заведомо получает по одному случайному вопросу из каждой группы.

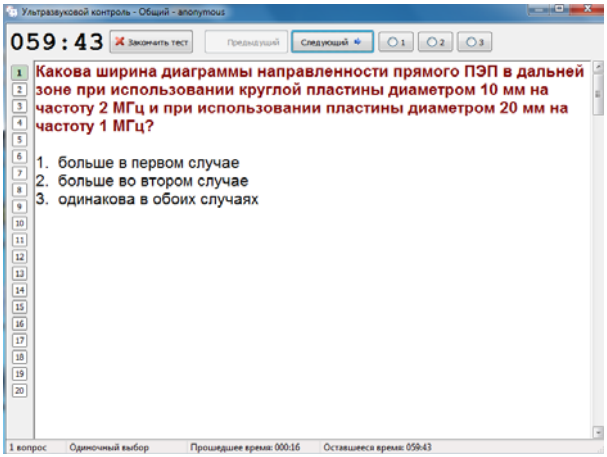


Рис. 1. Окно тестирования

Таким образом, двухмерное поле вопросов, применяемое в программе, позволяет преподавателю осветить разные аспекты предмета на значительном, не повторяющемся, тестовом материале.

На рис. 2 изображено диалоговое окно «Результаты тестирования». В окне показано процентное отношение неверных ответов к общему количеству вопросов в каждой теме и итоговая оценка за тестирование. Представлен результат прерванного теста.

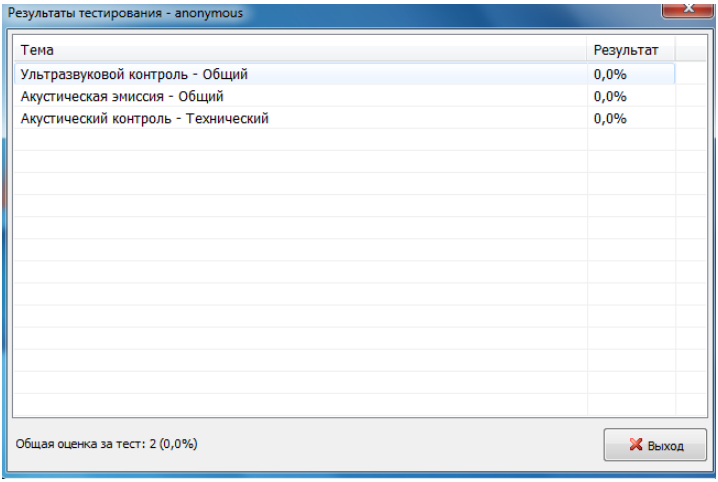


Рис. 2. Результаты тестирования

Для оценки качества тестового материала, удобства интерфейса, валидности и т. д. необходимо оценить адекватность случайной выборки вопросов из тестового материала.

Подготовка и обработка экспериментальных данных

Задачу оценки качества подготовки (выборки) вопросов можно решить на базе двух независимых последовательностей. Последовательность выборки групп вопросов и последовательность выборки вопроса в группе. В качестве экспериментальных данных использовались результаты тестирования студентов по предмету «Акустический контроль» – 100 вопросов в одном разделе, и по предмету «Электромагнитный вид неразрушающего контроля» – 20 разделов по 8 вопросов. Объем выборки составил по предмету «Акустический контроль» 20 тестов по 20 вопросов, а по предмету «Электромагнитный вид НК» – 64 теста по 20 вопросов каждый. Таким образом, в тесте по предмету «Электромагнитный вид НК» при прохождении теста выбирался один вопрос из каждой

группы. Это соответствует задаче оценки качества выборки вопросов в группе. Тест по предмету «Акустический контроль» соответствует задаче об оценке равномерности выбора группы вопросов. Тесты проведены на базе дисплейного класса кафедры ПиМКК в 2014 г.

Результаты предварительной обработки полученных данных представлены на рис. 3. По вертикали отложено количество попаданий в группу. По горизонтали отложен номер группы. Поскольку количество вопросов в группе по предмету «Электромагнитный вид НК» составляет 8, то количество групп также принято 8.

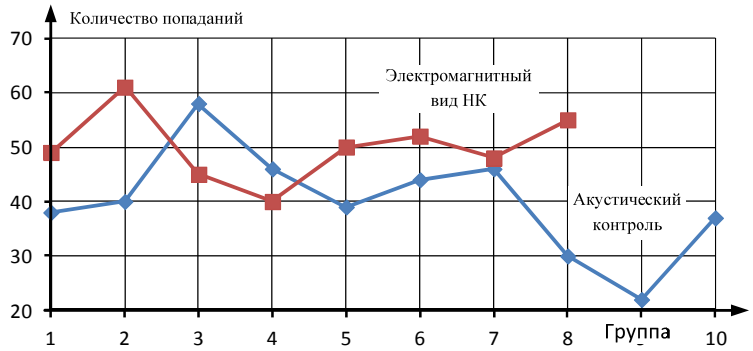


Рис. 3. Консолидация данных

Проверка гипотезы о равномерном законе распределения поводилась с помощью критерия Пирсона. Расчет проведен в программной среде *MathCad*. Уровень значимости принят равным 1 %. Для результатов по предмету «Акустический контроль» получены наблюдаемые значения: 14 при критическом значении – 16,919. По предмету «Электромагнитный вид НК» получены наблюдаемые значения 5,15 при критическом значении 7,95. Таким образом, нет оснований отвергать гипотезу о том, что данные выборки имеют равномерный закон распределения.

В работе проведены экспериментальные исследования программного продукта для проведения тестирования. Произведена оценка равномерности распределения при выборке групп вопросов и равномерности распределения при выборке вопросов в группе. Статистический анализ показал удовлетворительное соответствие выборок нормальному закону распределения.

Список литературы

1. Теория вероятностей и математическая статистика : лаборат. практикум / И. И. Ванштейн, Т. А. Кустицкая, Т. В. Сидоров. – URL: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/161/u_lab.pdf (дата обращения: 7.06.14).

2. *Гмурман, В. Е.* Руководство к решению задач по ТВ и МС. Проверка гипотезы о нормальном распределении генеральной совокупности по критерию Пирсона. – URL: http://postovalov.net/teaching/tv_ms/gmurman.pdf (дата обращения: 7.06.2014).

3. SQL. Mathcad. – URL: www.sql.ru/forum/554751/mathcad-peredatochnaya-funkciya-i-koefficient-peredachi (дата обращения: 7.06.14).

4. Математическая статистика. MathCad. Гл. 13. – URL: http://itmuvsuet.ru/Posobija/MathCAD/gl13/index.htm (дата обращения: 7.06.2014).

УДК 620.179.16+669.017:53+539.3

В. В. Муравьев[1], д-р техн. наук, профессор
А. В. Байтеряков[1], аспирант
А. И. Дедов[1], науч. сотр.
Р. С. Казаков[1], студент
С. В. Леньков[2], д-р техн. наук, с.н.с.
Т. Н. Белослудцев[3], вед. инж. по сварке ОГС
E-mail: pmkk@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова[1]
Физико-технический институт УрО РАН[2], г. Ижевск
ОАО «Газпром трансгаз Чайковский»[3], г. Чайковский

Изменение акустических характеристик стали 09Г2С в условиях механического растяжения

В процессе длительной эксплуатации магистральные трубопроводы под действием внешних факторов, таких как давление грунта, коррозия, а так же изменение погодных условий, испытывают циклические нагрузки, приводящие к накоплению повреждений металла, а, следовательно, и к изменению его структурного состояния. Такие изменения в результате дальнейшей эксплуатации конструкции могут приводить к разрушению.

© Муравьев В. В., Байтеряков А. В., Дедов А. И., Казаков Р. С., Леньков С. В., Белослудцев Т. Н., 2015.

Работа выполнена в рамках проекта № 3.751.2014/К по государственному заданию Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годы в рамках проектной части проведения научно-исследовательских работ.

Известные ультразвуковые, электромагнитные и вихретоковые методы дефектоскопии позволяют определять наличие уже сформировавшихся, достаточно крупных дефектов. Поэтому важно выявлять накопление изменений в металле трубопровода на ранней стадии путем определения структурного состояния металла [1–7].

Целью работы явилось исследование влияния растягивающей одноосной нагрузки образцов стали 09Г2С после различной термической обработки на акустические структурные шумы.

Для проведения экспериментальных исследований в соответствии с ГОСТ 1497–84 (ИСО 6892-84, СТ СЭВ 471-88. Металлы. Методы испытаний на растяжение) были подготовлены три образца стали 09Г2С, вырезанные из фрагментов основного материала ранее эксплуатируемого магистрального трубопровода Ду1420×15,7 (табл. 1).

Таблица 1. **Механические свойства стали 09Г2С после отжига**

Параметр	Значение
Предел прочности $\sigma_в$, МПа	640
Предел текучести $\sigma_т$, МПа	512
Относительное удлинение при разрыве δ_5, %	23
Ударная вязкость *KCV*, Дж/см^2	324

Фрагменты предварительно подвергались термической обработке для получения различных структурных состояний. Характеристики подготовленных образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2. **Характеристики образцов**

№ образца	Режим термообработки	Температура нагрева, °С	Выдержка в печи, час	Условия охлаждения	Балл зерна
1	Исходное состояние	–	–	–	4
2	Высокий отпуск	600–650	1,0	С печью	4
3	Нормализация	900–930	0,5	На воздухе	7

Образцы имеют корсетный вырез с сечением 15×25 мм^2 в средней части для концентрации напряжений в этой области и локализации накоплений повреждений при растяжении.

Испытания на растяжение металлических образцов проводились с помощью испытательной машины *Instron 300DX*. Образцы нагружались поступательно с шагом 10 кН до достижения нагрузки в 100 кН, а далее с шагом 5 кН. Схема испытательной установки приведена на рис. 1.

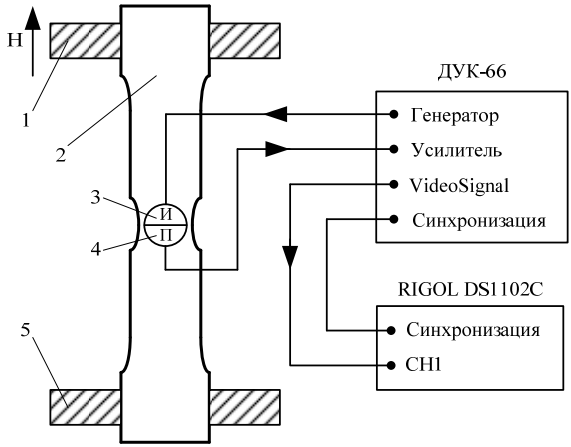


Рис. 1. Схема испытательной установки: *1* – подвижное крепление испытательной машины; *2* – исследуемый образец; *3* – излучающий и *4* – приемный пьезопреобразователь; *5* – неподвижное крепление испытательной машины

В эксперименте для возбуждения и приема ультразвуковой волны использовался раздельно-совмещенный (РС) преобразователь П112-5,0-Ø8, в качестве генератора зондирующих импульсов использовался дефектоскоп ДУК-66, для регистрации, сохранения и дальнейшей обработки электрического сигнала к выходу *VideoSignal* дефектоскопа ДУК-66 подключен цифровой осциллограф *RIGOL DS1102C*.

Следует отметить, что в зоне контакта излучающей призмы и объекта контроля возникает рэлеевская волна (пролаз), переизлучаемая в приемную призму. Для оценки структурного шума в качестве опорного сигнала использован «пролаз» рэлеевской волны U_R. В отличие от донного сигнала, «пролаз» рэллевской волны является наиболее стабильным при изменении качества контакта, шероховатости поверхности и не зависит от состояния донной поверхности [8].

Ввиду того, что уровень структурных шумов является результатом интерференции волн, многократно рассеянных от зерен материала, в методике оценивается интегральная характеристика структурного шума U_{SN}, определяемая как результат интегрирования структурного шума по всей рабочей зоне акустического тракта. Интегрирование реализовано в среде *MathCad* после интерполяции оцифрованного сигнала [5].

На рис. 2 представлен график зависимости отношения уровня структурного шума U_{SN} к уровню «пролаза» рэлеевской волны U_R в зависимости от уровня растягивающих напряжений в образцах.

На графике видно, что для всех образцов уровень структурного шума меняется незначительно вплоть до достижения предела текучести. Точка перегиба на графике характеризует начало структурных изменений, деформации Чернова – Людерса, течение металла. Наблюдается резкое снижение уровня структурного шума.

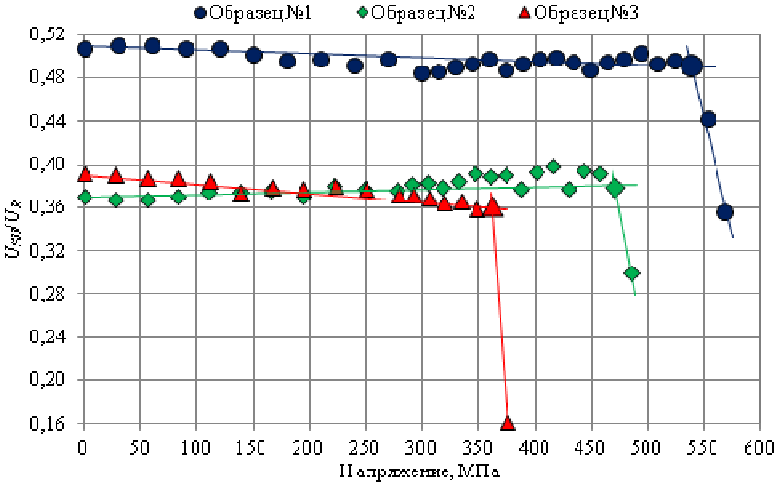


Рис. 2. Зависимость отношения U_{SN}/U_R к величине напряжений для трех образцов

После механического растяжения, были измерены амплитуды донных импульсов U_{BP} образцов в области концентратора и в близлежащих областях, менее подверженных механическому растяжению, как показано на рис. 3.

На графике, представленном на рис. 3, продемонстрировано систематическое уменьшение амплитуды донных импульсов в области концентратора для всех образцов, подвергшихся растяжению.

Таким образом, в зависимости от структуры металла точка резкого снижения уровня структурного шума характеризует начало пластического течения. Эффект объясняется тем, что при механическом нагружении плоского образца в области концентратора напряжений происходит пластическая деформация Чернова – Людерса.

Эффект снижения амплитуды донного импульса в области концентратора вызван наличием пластических деформаций металла в результате механического растяжения.

Эксперименты по исследованию влияния растягивающей одноосной нагрузки термически обработанных образцов стали 09Г2С на информативные параметры ультразвуковых волн позволили сделать следующие выводы:

1. Зафиксирована закономерность резкого снижения уровня структурных шумов при достижении металлом предела текучести.

2. Экспериментально установлено, что резкое падение уровня структурных шумов при достижении предела текучести подтверждает высокую чувствительность метода к изменениям структуры металла.

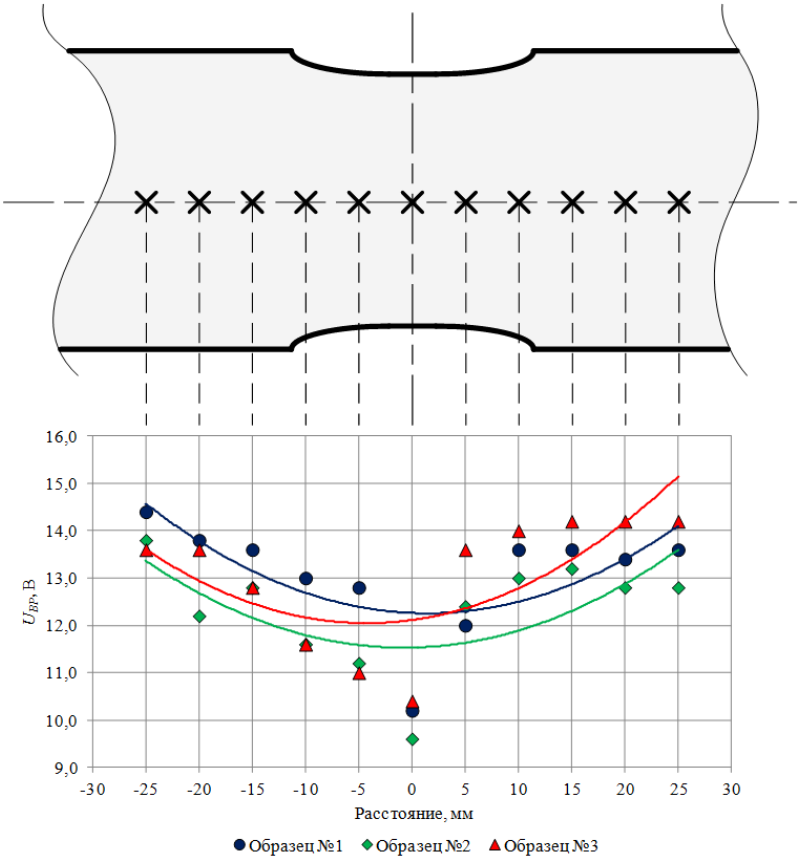


Рис. 3. Амплитуды донных импульсов U_{BP} образцов после механического растяжения

Список литературы

1. Акустический контроль качества термообработки сплава Д1 / В. В. Муравьев [и др.] // Дефектоскопия. – 1980. – № 8. – С. 48–53.

2. *Муравьев, В. В*. Взаимосвязь скорости ультразвука в сталях с режимами их термической обработки // Дефектоскопия. – 1989. – № 2. – С. 66–68.

3. *Смирнов, А. Н*. Акустический критерий предельного состояния длительно работающего металла технических устройств опасных производственных объектов / А. Н. Смирнов, В. В. Муравьев, Н. А. Хапонен // Контроль. Диагностика. – 2004. – № 5. – С. 19–23.

4. *Смирнов, А. Н.* Структурно-фазовое состояние и ресурс длительно работающего металла технических устройств опасных производственных объектов, перспективы дальнейшего развития методов оценки работоспособности / А. Н. Смирнов, В. В. Муравьев, С. В. Фольмер // Контроль. Диагностика. – 2009. – № 1. – С. 22–32.

5. *Муравьев, В. В*. К расчету параметров системы намагничивания электромагнитно-акустического преобразователя / В. В. Муравьев, В. А. Стрижак, Е. Н. Балобанов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 197–205.

6. Распределение остаточных напряжений при электроконтактном упрочнении бандажей локомотивных колес / В. В. Муравьев [и др.] // Технология машиностроения. – 2011. – № 9. – С. 42–45.

7. Исследование акустоупругих характеристик стержневой волны в термически обработанных стальных проволоках электромагнитно-акустическим методом / В. В. Муравьев [и др.] // Дефектоскопия. – 2012. – № 8. – С. 3–15.

8. Методика определения акустических структурных шумов металла / В. В. Муравьев [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 1. – С. 143–149.

УДК 620.179.16

О. В. Муравьева, д-р техн. наук, профессор
М. А. Габбасова, аспирант
И. В. Булдакова, магистрант
E-mail: pmkk@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Методы определения скорости ультразвуковых волн электромагнитно-акустическим зеркально-теневым методом контроля

Одним из основных информативных параметров при ультразвуковой (УЗ) структуроскопии и тензометрии является скорость распространения УЗ-волн. При этом предъявляются требования к методикам и средствам измерения данного параметра с высокой точностью. В [1, 2] показано, что при реализации для контроля цилиндрических объектов электромагнитно-акустического (ЭМА) зеркально-теневого (ЗТ) метода возможно существенное повышение точности определения скорости УЗ-волн за счет увеличения базы прозвучивания при многократных отражениях. При этом мешающим фактором является низкая эффективность ЭМА-преобразования, приводящая к ухудшению отношения «сигнал – шум», а следовательно, к увеличению случайной погрешности измерений.

В статье представлены результаты сравнительного анализа погрешностей измерения скорости УЗ-волны при использовании методов определения времени прихода импульсов многократных отражений «по уровню», с использованием корреляционной функции и спектрального анализа.

Измерение скорости УЗ-волн проводилось на стальном прутке 03Х17Н5Д3Б диаметром d = 22 мм. Результаты регистрации импульсов УЗ поперечных волн, многократно переотраженных по поперечному сечению прутка, полученных с помощью экспериментальной установки [1], представлены на рис. 1. Показано [3], что ввиду фазового сдвига на $\pi/2$ при каждом отражении по диаметру при определении скорости необходимо использовать импульсы многократных отражений со значениями m, кратными 4. Случайная погрешность измерения скорости оце-

© Муравьева О. В., Габбасова М. А., Булдакова И. В., 2015

Работа выполнена в рамках проекта по государственному заданию Министерства образования и науки РФ «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годы по разделу «Организация проведения научных исследований»; в соответствии с Программой стратегического развития «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2012–2016 годы.

нивалась по результатам трех измерений в исследуемой области прутка в предположении точности определения диаметра прутка 50 мкм, систематическая – по формулам, представленным в [3].

В случае использования ЭМА ЗТ-метода контроля цилиндрических объектов диаметром d скорость УЗ-волны C может быть найдена по формуле:

$$C = \frac{d \cdot m}{t_{n+m} + t_n}, \tag{1}$$

где $t_{n+m} - t_n$ – время между $(n + m)$ и n импульсами; n, m – количество переотражений на диаметре прутка.

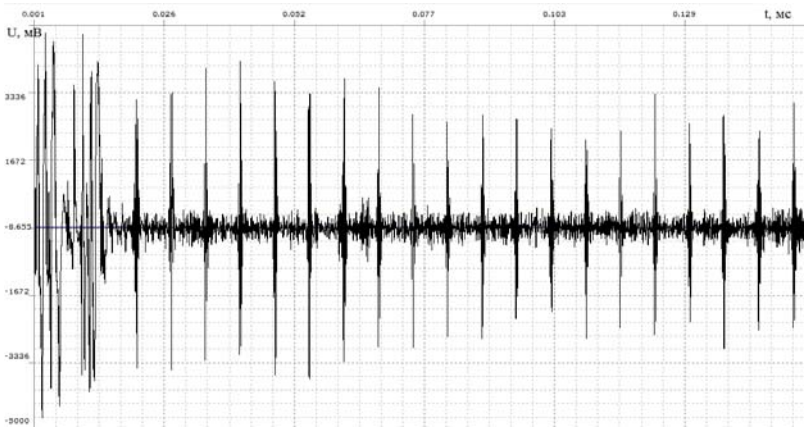


Рис. 1. Осциллограмма многократных переотражений УЗ-волны по поперечному сечению прутка

В [3] исследованы возможности снижения случайной погрешности при определении временной задержки $t_{n+m} - t_n$ между импульсами путем дополнительной математической обработки: осреднение сигнала по 32 измерениям с целью минимизации уровня электрических шумов; детектирование сигнала; возведение сигнала в квадрат. При определении временной задержки использованы методы определения «характерной точки»: «переход через 0», «абсолютный максимум», «по уровню относительно максимума». Экспериментальным путем установлено, что минимальная случайная погрешность наблюдается при использовании метода измерения времени «по уровню относительно максимума» для УЗ-сигнала, возведенного в квадрат. Значение скорости, определенное дан-

ным методом для исследуемого прутка, и соответствующие случайная и систематическая погрешности измерения скорости занесены в таблицу.

В [4] описан метод использования взаимной корреляционной функции для определения скорости УЗ-волны, основанный на определении временного сдвига, соответствующего максимальному значению коэффициента корреляции $R_{\max}$. С учетом коэффициента корреляции формула (1) для расчета скорости принимает вид:

$$C = \frac{d \cdot m}{(t_{n+m} - t_n) \pm \Delta t_{R\max}}. \qquad (2)$$

На рис. 2, *а* представлены кривые, характеризующие изменение максимальных значений коэффициентов корреляции $R_{\max}$ при сравнении импульса $n = 4$ и последующих отражений со значениями m, кратными 4, для исходного сигнала и сигнала, возведенного в квадрат. Для сигнала, возведенного в квадрат, отклонение коэффициента ВКФ относительно среднего по n, более существенно ($R_{\max}$ = 0,72–0,95), чем для исходного сигнала ($R_{\max}$ = 0,93–0,96), что увеличивает значение случайной погрешности и говорит о целесообразности использования для анализа методом ВКФ невыпрямленного сигнала.

Результаты расчета скоростей поперечных волн по методу ВКФ для отражений $n = 4$ и последующих отражений со значениями m, кратными 4, представлены на рис. 2, *б*. Результаты определения скорости и оценки случайной погрешности измерения скорости методом ВКФ представлены в таблице.

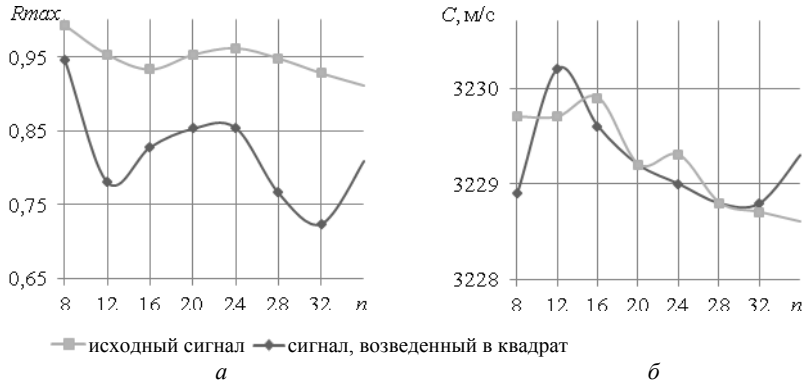


Рис. 2. Максимальные значения коэффициентов корреляции $R_{\max}$ (*а*) и значения скоростей, соответствующие максимуму функции ВКФ (*б*)

Систематическая погрешность определения скорости распространения УЗ-волны при использовании данной методики характеризуется точностью определения временной задержки (2 нс) и составляет так же, как для первого метода, ΔC = 1,2 м/с = 0,04 %.

Спектральный анализ полученных осциллограмм проводился в специализированном программном обеспечении *WinПос*, имеющем широкий инструментарий по обработке и анализу различных сигналов. На рис. 3 изображены полученные методом быстрого преобразования Фурье в пакете *WinПос* спектральные характеристики осциллограмм исследуемого объекта. Для спектрограммы наблюдается спектр в виде явно выраженных отдельных гармоник, следующих с определенной периодичностью Δf , связанной со скоростью C УЗ-волны формулой:

$$C = d \cdot \Delta f, \tag{3}$$

где d – диаметр прутка; n – количество анализируемых гармоник в спектре; Δf – частотный диапазон, соответствующий разнице частот между двумя соседними максимумами.

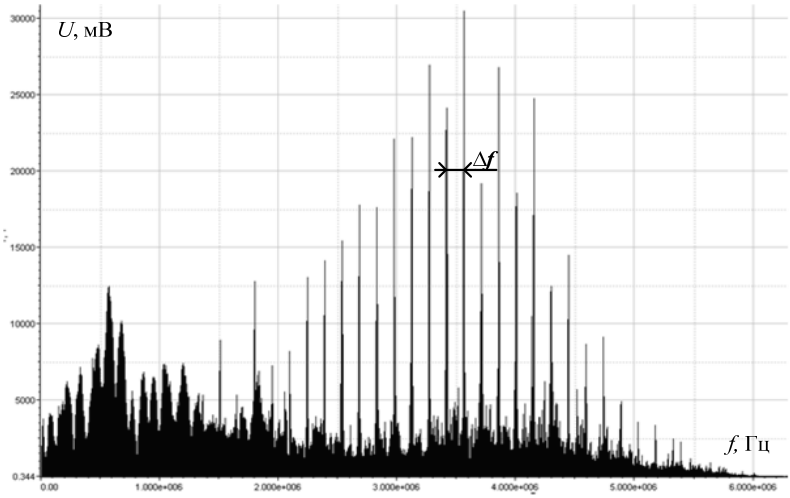


Рис. 3. Спектограмма осциллограммы многократных переотражений УЗ-волны по поперечному сечению прутка

Результаты определения скорости и оценки случайной погрешности измерения скорости методом спектрального анализа представлены в таблице. Систематическая погрешность при использовании данной методики характеризуется точностью определения частоты спектра (1 кГц) и составляет по скорости C = 20 м/с = 0,7 %.

Результаты измерения скорости и погрешности измерения

Номер m	C, м/с по номеру измерения			$\overline{C}$, м/с	Случайная погрешность ΔC		Систематическая погрешность ΔC	
	1	2	3		м/с	%	м/с	%
1. Метод «по уровню относительно максимума » для сигнала, возведенного в квадрат								
12	3229,5	3229,3	3228,6	3229,1	0,8	0,023	1,2	0,04
2. С использованием корреляционной функции								
Исходный сигнал								
8	3229,8	3229,8	3229,4	3229,7	0,43	0,013	1,2	0,04
12	3229,8	3229,8	3229,6	3229,7	0,23	0,007		
16	3229,9	3229,6	3230,1	3229,9	0,47	0,014		
Сигнал, возведенный в квадрат								
8	3229,8	3229,8	3227,2	3228,9	2,76	0,085	1,2	0,04
12	3231	3231,1	3228,5	3230,2	2,71	0,084		
16	3229,9	3229,6	3229,3	3229,6	0,55	0,017		
3. С использованием спектральных характеристик								
–	3228	3231,8	3232,1	3230,6	3,87	0,12	20	0,7

Анализ полученных результатов показывает, что метод, использующий ВКФ, имеет минимальную случайную погрешность среди всех рассмотренных методов, т. е. является наиболее устойчивым к нестационарным шумам и помехам. При этом систематическая погрешность методов «по уровню относительно максимума» и с использованием ВКФ минимальны и одинаковы, а метода спектрального анализа – существенны ввиду низкой точности определения частоты спектра. Недостатком метода «по уровню» сложность автоматизации процесса расчета ввиду необходимости контроля формы сигнала для поиска «характерной точки», искажаемой при каждом последующем отражении.

Список литературы

1. *Муравьев, В. В.* Контроль качества термической обработки прутков из стали 60С2А электромагнитно-акустическим методом / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, Е. Н. Кокорина// Дефектоскопия. – 2013. – № 1. – С. 20–32.

2. *Муравьева, О. В.* Реальная чувствительность входного акустического контроля прутков-заготовок при производстве пружин / О. В. Муравьева [и др.] // В мире неразрушающего контроля. – 2013. – № 1. – С. 62–70.

3. *Муравьева, О. В.* Погрешности определения скорости и затухания объёмных волн с использованием проходных электромагнитно-акустических преобразователей / О. В. Муравьева, Е. Н. Кокорина, М. А. Габбасова // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : сб. тр. II Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – С. 142–147.

4. *Булдакова, И. В.* Использование корреляционной функции при определении скорости ультразвуковой волны в цилиндрических объектах / И. В. Булдакова, О. В. Муравьева // Измерения, контроль и диагностика – 2014 : сб. тр. III Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014.

УДК 620.179.16

О. В. Муравьева, д-р техн. наук, профессор
М. Ю. Соков, аспирант
E-mail: pmkk@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Расчет акустического поля проходного электромагнитно-акустического преобразователя

Акустическое поле преобразователя – основной параметр контроля, подлежащий поверке, и позволяющий описать акустический тракт метода контроля. Разработанная [1, 2] технология дефектоскопии, толщинометрии, структуроскопии пруткового проката с использованием проходных электромагнито-акустических (ЭМА) преобразователей требует тщательного анализа их акустического поля (диаграммы направленности), позволяющего определить ослабление волн вследствие расхождения. Следует отметить, что акустические поля пьезо и ЭМА преобразователей накладного типа детально исследованы в литературе.

© Муравьева О. В., Соков М. Ю., 2015

Работа выполнена в рамках проекта по государственному заданию Министерства образования и науки РФ «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годы по разделу «Организация проведения научных исследований»; в соответствии с Программой стратегического развития «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2012–2016 годы.

В статье предложена методика расчета формирования акустического поля проходного ЭМА-преобразователя поперечных волн, теоретически и экспериментально оценены потери волны за счет расхождения.

Проходной ЭМА преобразователь [3] содержит соосный с прутком цилиндрический высокочастотный индуктор с током i, и источник поля подмагничивания с индукцией $\vec{B}_0$ и использует электродинамический механизм преобразования. Ориентация поля подмагничивания в радиальных направлениях в приповерхностной области прутка по отношению к направлению вихревых токов $i_в$ обеспечивает распространение поперечных волн с осевой поляризацией во всех радиальных направлениях (перпендикулярно оси прутка) по сечению прутка (рис. 1).

При разработке методики расчета акустического поля проходного ЭМА преобразователя считаем, что в плоскости поперечного сечения прутка акустическое поле излучения формируется вогнутым полуцилиндром диаметром прутка *d,* описываемым формулой [4]:

$$\frac{P'}{P_0} = \frac{S}{\lambda}\sqrt{\frac{d}{8r^3\left(1+d/2r\right)}}, \tag{1}$$

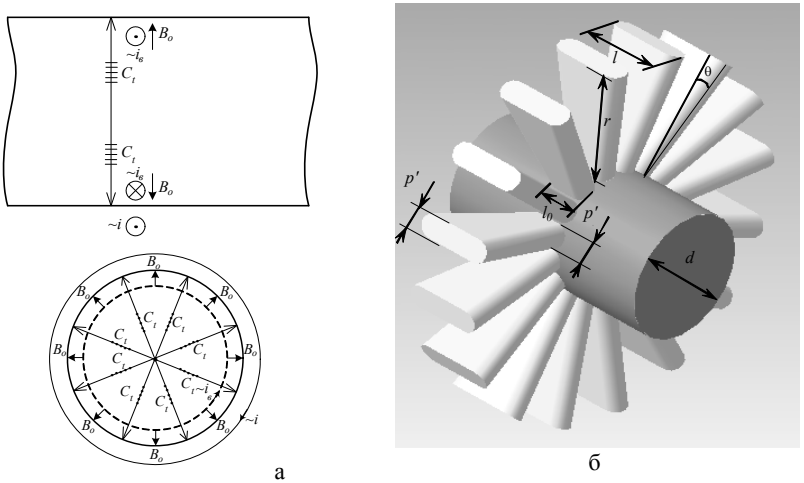
поле приема – выпуклым полуцилиндром диаметром прутка *d,* описываемым формулой

$$\frac{P'}{P_0} = \frac{S}{\lambda}\sqrt{\frac{d}{8r^3\left(1-d/2r\right)}}. \tag{2}$$

где P_0 и P' – амплитуды излученного и принятого сигналов; S – площадь пьезопластины; r – расстояние до ближайшего к преобразователю края отражателя.

Акустическое поле излучения-приема можно рассматривать как произведение поля излучения на поле приема, произведение формул (2.5) и (2.6) при условии $d = r$, дает $P'/P_0 = 1$. Таким образом, в плоскости поперечного сечения прутка акустическое поле не ослабляется с расстоянием (имеет место эффект фокусировки по центру прутка).

В плоскости продольного сечения прутка акустическое поле излучения – приема можно представить в виде расходящейся волны. Расхождение волны внутри прутка при формировании серии многократных переотражений эквивалентно представлению поля в виде совокупности элементов с сечением в виде равносторонней трапеции и шириной основания, постоянной вне зависимости от расстояния от поверхности прутка (рис. 1, *б*).



а б

Рис. 1. Принцип действия проходных ЭМА преобразователей поперечных волн радиальных направлений по сечению (*а*); схематичное описание расхождения акустических волн в продольном сечении прутка (*б*)

Площадь основания таких элементов зависит от расхождения волны, определяемого углом θ:

$$\theta = \operatorname{arctg} l_0 / a \,, \tag{3}$$

где a – расстояние до акустического центра и описывается формулой:

$$S = \pi d l = l(a + r)/a \,. \tag{4}$$

При площади излучающей поверхности (при $r = d$) $S = \pi d l_0$, законы ослабления интенсивности I (как энергии, приходящейся на единицу поверхности S) и давления P с расстоянием за счет расхождения описываются формулами для волны с цилиндрическим фронтом:

$$I'/I_0 = a/r + a \,, \tag{5}$$

$$P'/P_0 = \sqrt{a/r + a} \,. \tag{6}$$

На рис. 3, *а* представлены результат моделирования серии многократных переотражений по диаметрам прутка при заданном формулой (6) законе расхождения волны с расстоянием для прутка диаметром d = 22 мм при a = 1 м в условиях пренебрежимо малого затухания (δ = 0,3 1/м).

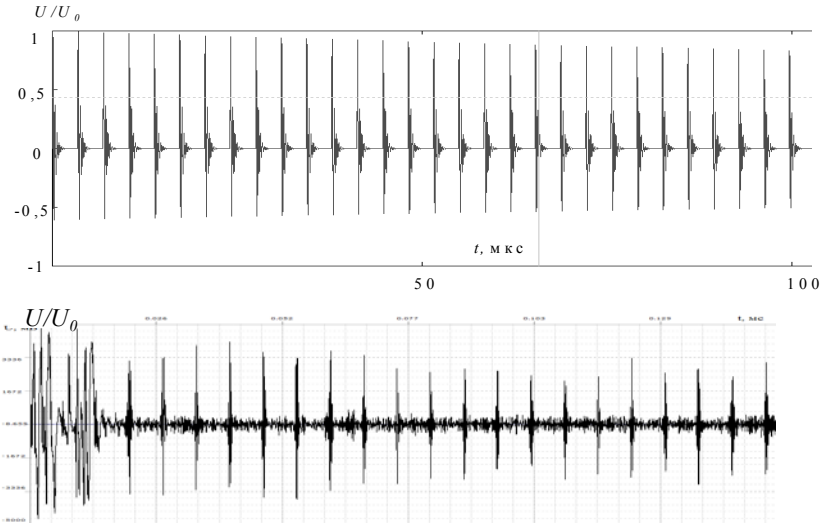


Рис. 2. Результирующая эхограмма многократных отражений для эллипса с полуосями a = 12 мм и b = 11 мм

Экспериментальные исследования проведены на стальном прутке диаметром d = 22 мм, состав которого, полученный методом проб по методике «Сталь среднеуглероистая 46» представлен в табл. 1, а структура – на рис. 3. Оценка среднего размера зерна $D_{\text{ср}}$ согласно рис. 3 соответствует 9–10 номеру зерна или среднему диаметру зерна 10–15 мкм, при этом затухание на основной частоте сигнала f = 3,5 МГц, определяемое формулой:

$$\delta = 0{,}1 f + 105 D_{\text{ср}}^4 f^4 . \qquad (7)$$

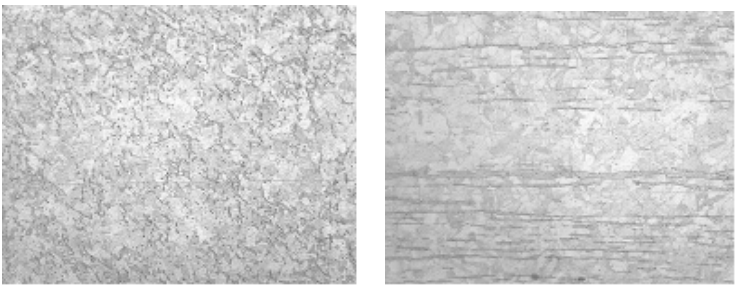
составляет δ =0,37 1/м.

Таблица 1. **Состав исследуемого прутка**

Элемент	Mn	Cr	Ni	Co	C	Nb	Cu	Si	V	P	W
%	0,398	11,12	4,58	0,043	0,004	0,21	2,45	0,72	0,027	0,032	0,01

Экспериментальная серия многократных отражений, полученная с использованием установки, представленной в [1], показана на рис. 3, *б*. Огибающая амплитуд, построенная для эхо-импульсов, кратных 4 (ввиду фазового сдвига на $\pi/2$ при каждом отражении), приведена на рис. 4.

Наблюдается удовлетворительное согласование зависимости, полученной в ходе моделирования с экспериментальной, что говорит о правильности представления акустического поля проходного ЭМА-преобразователя в виде волны с цилиндрическим расходящимся фронтом, обусловленным эффектом фокусировки в плоскости сечения прутка и эффектом сферического расхождения в плоскости продольного сечения.



а *б*

Рис. 3. Микрошлиф исследуемого прутка: *а* – продольный шлиф, *б* – поперечный шлиф

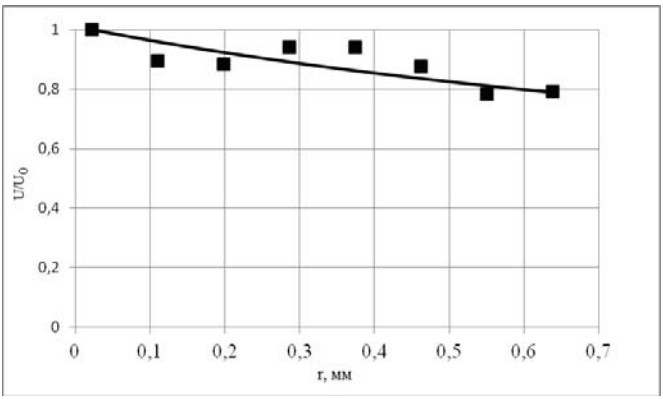


Рис. 4. Огибающая амплитуд серии многократных отражений

Таким образом, предложенная методика расчета акустического поля (диаграммы направленности) проходного ЭМА-преобразователя позволяет определить ослабление волн вследствие расхождения и может быть использована для описания акустического тракта зеркального теневого ЭМА-метода на многократных отражениях при взаимодействии с дефектами.

Список литературы

1. *Муравьев, В. В.* Контроль качества термической обработки прутков из стали 60С2А электромагнитно-акустическим методом / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, Е. Н. Кокорина // Дефектоскопия. – 2013. – № 1. – С. 20–32.

2. Реальная чувствительность входного акустического контроля прутков-заготовок при производстве пружин / О. В. Муравьева [и др.] // В мире неразрушающего контроля. – 2013. – № 1. – С. 62–70.

3. Оптимизация систем подмагничивания проходных электромагнитно-акустических преобразователей объемных волн для неразрушающего контроля пруткового проката / О. В. Муравьева [и др.] // Датчики и системы. – 2013. – № 2. – С. 2–9.

4. Справочник : в 8 т. / под ред. В. В. Клюева. – Т. 3. И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге Ультразвуковой контроль – М. : Машиностроение ; НИИИН МНПО «Спектр». – 2008. – 864 с.

УДК 620.179.16

О. В. Муравьева, д-р техн. наук, профессор
К. В. Петров, магистрант
E-mail: pmkk@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Моделирование взаимодействия проходного электромагнитно-акустического преобразователя с эллипсностью прутка

При изготовлении пруткового проката одним из недопустимых дефектов является овальность сечения, нормируемая, как правило, в пределах половины допуска на диаметр прутка и определяемая его квалитетом. На производстве для контроля овальности используется различный измерительный инструмент. В [1] показано, что одним из подходов к решению задачи измерения отклонения геометрии поперечного сечения пруткового проката от круглого является использование бесконтактного электромагнитно-акустического метода (ЭМА) с применением объемных поперечных волн. При этом формируется серия многократных отражений ультразвуковых (УЗ) импульсов по сечению прутка [2, 3], оги-

© Муравьева О. В., Петров К. В., 2015

Работа выполнена в рамках проекта по государственному заданию Министерства образования и науки РФ «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годы по разделу «Организация проведения научных исследований»; в соответствии с Программой стратегического развития «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2012–2016 годы.

бающая которой модулируется при наличии дефектов или отклонении сечения прутка от круглого.

В статье предложена модель формирования серии многократных отражений при эллиптичности сечения прутка и исследовано влияние отклонения от круглого сечения на информативные параметры получаемой осциллограммы.

Процесс излучения и приема ультразвуковых волн проходным ЭМА-преобразователем может быть представлен как результат суперпозиции волн, излучаемых элементарными излучателями, равномерно распределенными по длине окружности сечения прутка, и принимаемыми диаметрально противоположными элементарными приемниками по всей длине окружности [4]. Серия импульсов многократных отражений формируются в результате переотражения элементарных волн по диаметрам прутка во всех направлениях.

На рис. 1 показан ход луча УЗ-волны по круглому (*а*) и эллиптическому (*б*) сечениям. При круглом сечении прутка луч УЗ-волны t_1, излучаемой из точки *A* под углом ввода α, распространяется по нормали n_1 к касательной k_1 в точке *A*, проходит через центр сечения и попадает в диаметрально противоположную точку *B*. В точке *B* луч t_1 отражается и распространяется в направлении в виде луча t_2 идет по нормали n_2 к касательной k_2 в точке *B*, совпадающей с нормалью n_1 и возвращается обратно в точку *A*. Аналогичным образом формируются переотражения для элементарных излучателей под другими углами ввода.

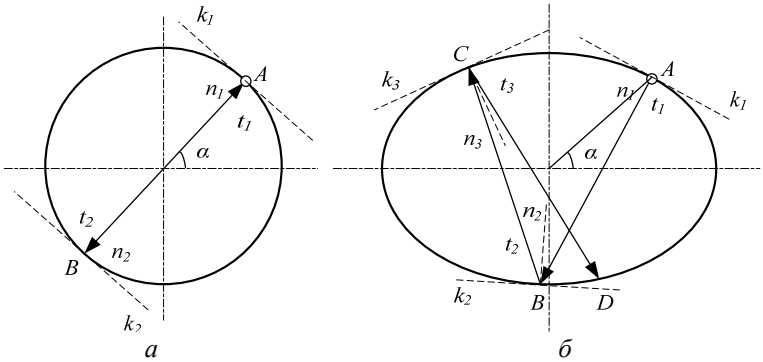


Рис. 1. Взаимодействие УЗ-волн с прутком круглого (*а*) и эллиптического (*б*) сечений

При эллиптическом сечении прутка луч УЗ-волны t_1, излученный из точки *A* под углом α по нормали n_1 к касательной k_1 в точке *A* и при-

шедший в точку B, отражается согласно закону Снеллиуса под углом отражения, равным углу падения относительно нормали n_2, проведенной к касательной k_2 в точке B. Отраженный в точке B луч t_2 попадает в точку C и отражается под углом к нормали n_3, проведенной к касательной k_3 в точке C, далее из точки C луч t_3 попадает в точку D и т. д.

Математическое описание взаимодействия УЗ-волны с овальностью сечения прутка представляется следующей системой последовательных шагов:

1) построение уравнения эллипса в декартовой системе координат:

$$y(x) = \pm b\sqrt{1 - x^2/a^2}\ , \tag{1}$$

где a и b – полуоси эллипса по осям x и y соответственно;

2) построение уравнения нормали n_1 в точке A эллипса с координатами (x_0;y_0) эллипса, совпадающей с уравнением прямой t_1:

$$n_1(x) = t_1(x) = \frac{a^2 \cdot y_0}{b^2 \cdot x_0} x - K\ , \tag{2}$$

где $K = \dfrac{a^2 \cdot y_0}{b^2} - y(x_0)$;

3) определение координаты точки B (x_1;y_1) эллипса при решении системы уравнений (1) и (2);

4) построение уравнения нормали n_2 в точке B (x_1;y_1) с использованием уравнения (2);

5) определение угла между прямыми t_1 и n_2 и построение уравнения прямой t_2:

$$t_2(x) = kx - T \tag{3}$$

где $k = \tan\left(2 \cdot \arctan\left(\dfrac{a^2 \cdot y_1}{b^2 \cdot x_1}\right) - \arctan\left(\dfrac{a^2 \cdot y_0}{b^2 \cdot x_0}\right)\right)$, $T = k \cdot x_1 - t_1(x_1)$;

6) расчеты по п. 1–5 повторяются для всех последующих отражений;

7) определение расстояния l между двумя соседними точками с координатами (x_0;y_0) и (x_1;y_1) при отражении;

$$l_1 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}\ ; \tag{4}$$

8) определение временных задержек t между переотраженными УЗ-импульсами и построение временной развертки пути УЗ-импульса при данном угле:

$$t = l_1/C\ , \tag{5}$$

где C – скорость УЗ-волны;

9) расчеты по п. 1–8 повторяются для всех углов падения в диапазоне от 0 до 90 градусов с дискретностью, исключающей погрешности моделирования;

10) суммирование осциллограмм в диапазоне углов от 0 до 360 градусов.

В качестве примера на рис. 2 представлен результат переотражений УЗ-волны по эллиптическому сечению при различных углах падения.

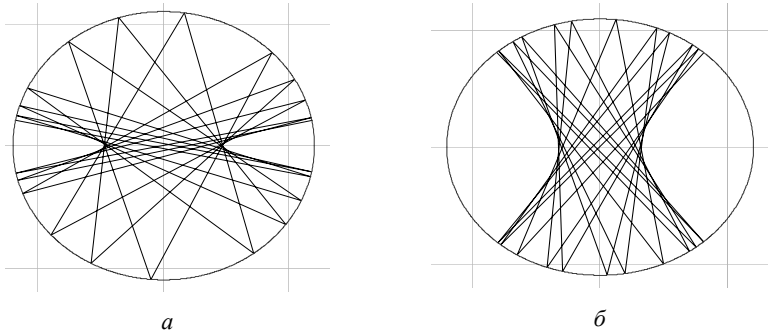


Рис. 2. Диаграмма 22 переотражений УЗ-луча: угол ввода 10º (*а*), 45º (*б*)

Результирующая эхограмма многократных отражений, расчитанная с шагом 5º, представлена на рис. 3. Как следует из рис. 3, при эллипсности прутка амплитуда эхоимпульсов убывает неравномерно, в отличие от прутка круглого сечения, и наблюдается определенная периодичность в огибающей амплитуд эхоимпульсов многократных отражений. При этом существенно искажается форма отдельных эхо-импульсов (рис. 4, *а*), происходит смещение эхо-импульсов по времени на дальних отражениях и появляются дополнительные импульсы, опережающие или запаздывающие относительно основных переотражений (рис. 4, *б*). Указанные отклонения тем существеннее, чем больше отклонение прутка от круглости по сечению.

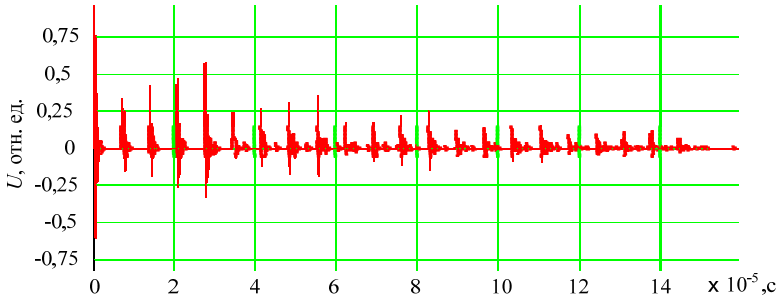
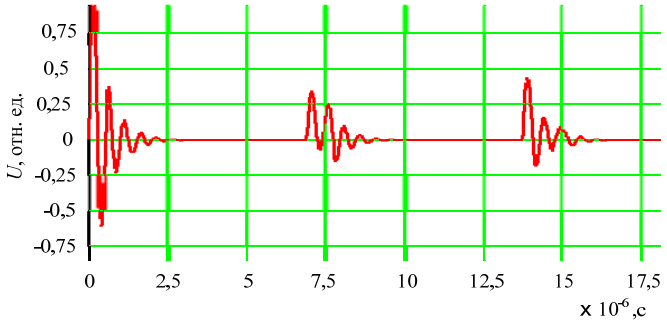
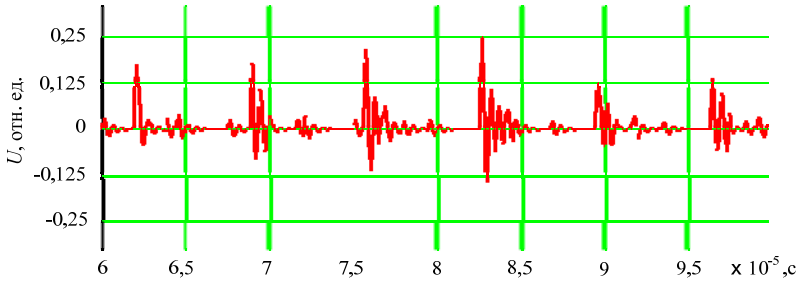


Рис. 3. Результирующая эхограмма многократных отражений для эллипса с полуосями a = 12 мм и b = 11 мм



а



б

Рис. 4. Результирующая эхограмма многократных отражений:
а – импульсы 1–3; *б* – импульсы 10–15

Таким образом, разработанная модель взаимодействия проходного ЭМА-преобразователя с эллипсностью прутка позволяет исследовать влияние параметров эллипсности на информативные характеристики сигнала, обосновать параметры возбуждения и выработать браковочные критерии.

Список литературы

1. Контроль отклонений в геометрии сечения прутка электромагнитно-акустическим методом / В. Д. Стерхов [и др.] // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : электрон. науч. изд. : сб. тр. II Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием (Ижевск, 23–25 апр. 2013 г.). – Ижевск, 2013. – С. 577–581.

2. Оптимизация систем подмагничивания проходных электромагнитно-акустических преобразователей объемных волн для неразрушающего контроля пруткового проката / О. В. Муравьева [и др.] // Датчики и системы. – 2013. – № 2. – С. 2–9.

3. *Муравьев, В. В.* Контроль качества термической обработки прутков из стали 60С2А электромагнитно-акустическим методом / В. В. Муравьев, О. В. Муавьева, Е. Н. Кокорина// Дефектоскопия. – 2012. – № 1. – С. 20–32.

4. *Муравьева, О. В.* Моделирование акустического тракта при дефектоскопии прутков зеркально-теневым методом на многократных отражениях / О. В. Муравьева, М. Ю. Соков // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : сб. тр. IX Всерос. науч.-техн. конф. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – С. 148–153.

УДК 620.179.16.05

Ю. В. Мышкин, аспирант
E-mail: mubm@yandex.ru
Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск
О. В. Муравьева, д-р техн. наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
С. В. Леньков, д-р техн. наук, профессор, зав. лабораторией
Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск

Влияние конструктивных параметров фазированных преобразователей на распределение поперечных волн горизонтальной поляризации при их фокусировке в трубопроводах

В ультразвуковом (УЗ) неразрушающем контроле (НК) использование фазированных решёток (ФР) имеет ряд преимуществ по сравнению с одноэлементными преобразователями. Возможности фокусировки и углового сканирования с использованием ФР позволяют повысить чувствительность метода контроля к обнаружению дефектов. В последнее время большой интерес представляет использование ФР в волноводном методе контроля труб с применением различных типов волн – симметричных, антисимметричных, крутильных, поперечных волн горизонтальной поляризации (t_H-волн).

Известно, что при формировании акустического поля ФР преобразователей возможно появление дифракционных лепестков существенной амплитуды, что может привести к ложным сигналам от отражателей в объекте контроля [1].

Известные из литературы [2] методы расчёта акустических полей с использованием дифракционного уравнения Рэлея – Зоммерфельда и метода конечного интегрирования не позволяют оценить диаграмму направленности ФР и, как следствие, возникновение дифракционных лепестков.

В статье представлены особенности акустических полей ФР поперечных волн горизонтальной поляризации (t_H-волн) в трубопроводах большого диаметра при фокусировке с позиции формирования дифракционных лепестков в зависимости от конструктивных параметров ФР.

© Мышкин Ю. В., Муравьева О. В., Леньков С. В., 2015

Работа выполнена в рамках проекта по государственному заданию Министерства образования и науки РФ «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годы по разделу «Организация проведения научных исследований»; в соответствии с Программой стратегического развития «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2012–2016 годы.

Для расчёта акустических полей разработано специализированное программное обеспечение [3], с помощью которого возможен расчёт различных типов распределения акустического поля (пространственное, по координате, по углу) многоэлементных фазированных преобразователей с учётом функции направленности сосредоточенного источника, соответствующего для t_H-волн источнику типа горизонтальной сосредоточенной силы [4]. В качестве примера на рис. 1 приведено угловое распределение амплитуд смещений для ФР с количеством n = 32 элементов с шириной каждого из них e = 10 мм, равномерно распределённых по образующей и работающих на частоте f = 100 кГц при фокусировке на расстоянии Fg = 10 м для трубы диаметром D = 500 мм. Наблюдается формирование дифракционного лепестка G с амплитудой A_G = 0,55 относительно основного лепестка M в направлении θ_G = 40°.

Рассмотрим влияние конструктивных элементов ФР – размера e и количества элементов n – на амплитуду A_G и угол появления θ_G дифракционных лепестков G для трубы диаметром D = 500 мм при фокусировке на расстоянии Fg = 10 м.

На рис. 2 и 3 представлены зависимости амплитуды A_G и угла появления θ_G дифракционных лепестков от параметров ФР – количества элементов n в диапазоне 16–60 и размера элементов e в диапазоне 2–60 мм для трубы на частотах f = 100 кГц (рис. 2) и f = 60 кГц (рис. 3). На рисунках линия предельных параметров ФР соответствует их максимальным значениям при постоянной апертуре, равной периметру огибающей трубы πD. В области над линией зазор между элементами g принимает отрицательные значения, что физически недопустимо.

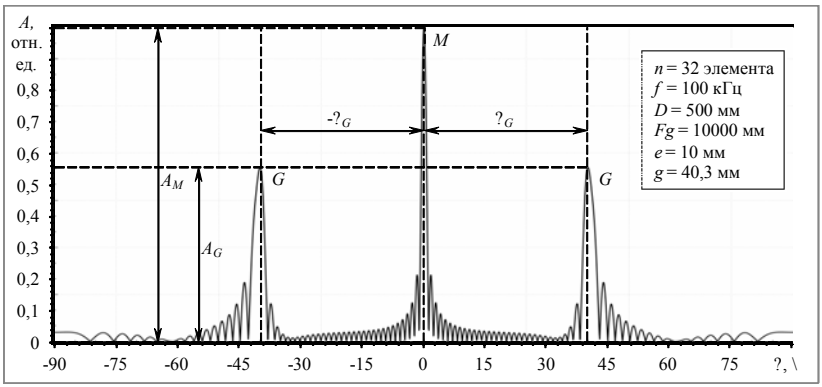


Рис. 1. К измерению амплитуды A_G и угла направления θ_G дифракционных лепестков G

Из рис. 2 видно, что амплитуда дифракционных лепестков тем меньше, чем большую протяжённость периметра огибающей трубы покрывают элементы ФР. Так, при n = 32 и e = 48 мм ослабление амплитуды дифракционных лепестков составляет 26 дБ (20 раз), а при e = 16 мм – 6 дБ (в 2 раза).

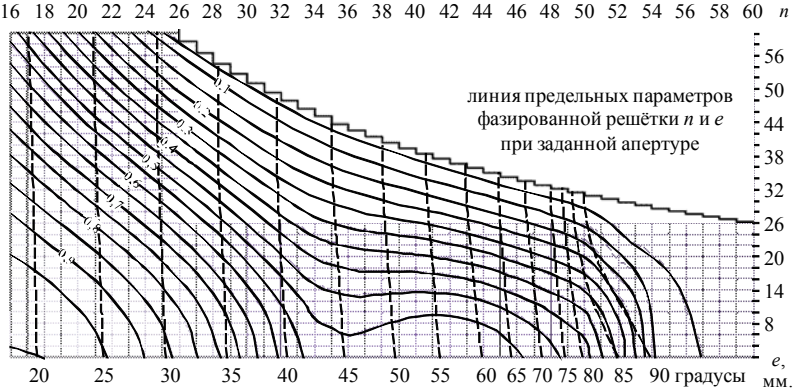


Рис. 2. Зависимость амплитуды A_G и угла направления θ_G дифракционных лепестков G по отношению к основному лепестку M от количества n и размера e элементов ФР для трубы с диаметром D = 500 мм на частоте f = 100 кГц

Согласно результатам на рис. 2 угол направления θ_G дифракционных лепестков G существенно растёт с увеличением количества элементов ФР и имеет незначительный рост при увеличении размера элементов e, причём скорость роста угла уменьшается при приближении угла дифракционного лепестка G к основному M. Так, при размере элементов в диапазоне e = 6–26 мм при n = 48 угол направления дифракционных лепестков изменяется в пределах 2 градусов, при n = 16 – в пределах 0,5 градусов.

Очевидно, что для максимального подавления ДЛ следует обеспечить большую физическую апертуру ФР преобразователей, что достаточно сложно для выпуклой поверхности трубы и плоской поверхности единичного элемента. Вследствие этого, конструктивные параметры ФР следует подбирать исходя из требуемого уровня дифракционных лепестков в сравнении с основным. Например, при размере элемента e = 15 мм, чтобы обеспечить фокус t_H-волн на расстоянии Fg = 10 м в трубе диаметром D = 500 мм и при этом ослабить амплитуду дифракционных лепестков на 10 дБ (в 3 раза), необходимо выбрать n = 48 элементов в ФР. При уменьшении количества элементов до n = 32 амплитуда ди-

фракционных лепестков вырастает в 1,5 раза (т. е. ослабление составляет 6 дБ по сравнению с основным лепестком), при этом угол направления дифракционных лепестков меняется с $\theta_G = 80°$ на $\theta_G = 41°$.

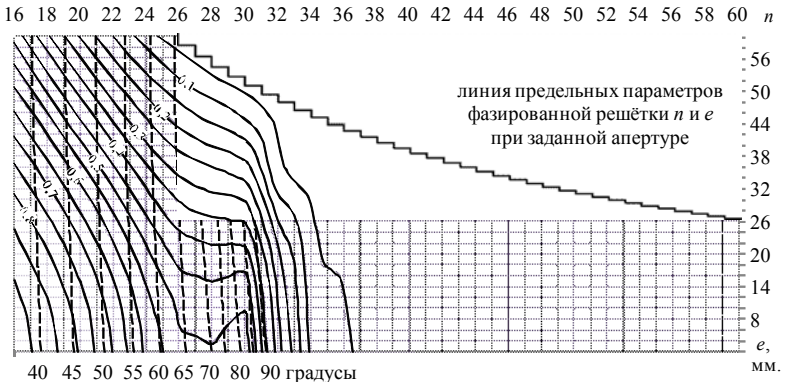


Рис. 3. Зависимость амплитуды A_G и угла направления θ_G дифракционных лепестков G по отношению к основному лепестку M от количества n и размера e элементов ФР для трубы с диаметром $D = 500$ мм на частоте $f = 60$ кГц

Стоит отметить, что при достаточно малом размере элементов e наблюдается периодическое усиление дифракционных лепестков, которое является следствием интерференции акустических волн от единичных элементов. Чем меньше отношение размера элемента e к размеру апертуры πD системы преобразователей и больше частота f, тем сильнее выражается периодичность в амплитуде дифракционных лепестков.

На частоте $f = 60$ кГц (рис. 3) зависимости имеют более ограниченный диапазон существования дифракционных лепестков по углу ($\theta_G = 36°$ и более) и по количеству элементов ($n = 31$ против $n = 54$ в случае $f = 100$ кГц). Наблюдается аналогичная периодичность амплитуды дифракционных лепестков при размере $e = 20$ мм и менее.

Полученные результаты исследования на различных частотах позволяют утверждать, что конструкция ФР, работающая на низких частотах, требует меньшее количество элементов для гарантированного ослабления дифракционных лепестков. Так, при размере элементов $e = 15$ мм для ослабления дифракционных лепестков на 6 дБ (в 2 раза) требуется $n = 25$ элементов, а для подавления их до уровня боковых лепестков необходимо $n = 32$ и более элементов. При прочих равных условиях для $f = 100$ кГц для ослабления на 6 дБ требуется $n = 32$ элемента (рис. 2) и для подавления их до уровня боковых лепестков – $n = 52$ элемента.

Таким образом, исследованные закономерности формирования дифракционных лепестков в диаграмме направленности фазированной решётки позволяют обосновать выбор рабочих частот и конструктивных параметров преобразователей (количество и размер элементов) для трубопроводов различных диаметров во избежание артефактов ультразвуковых изображений.

Список литературы

1. *Муравьева, О. В*. Влияние конструктивных особенностей противофазных электромагнитно-акустических преобразователей на формирование диаграмм направленности / О. В. Муравьева, В. В. Муравьев, А. В. Мышкин. – Дефектоскопия. – 2014. – № 9. – С. 41–49.
2. *Nakahata*, *Kazuyuki.* 3-D Modelings of an Ultrasonic Phased Array Transducer and Its Radiation Properties in Solid / Kazuyuki and Naoyuki Kono. – Ultrasonic Waves, Dr Santos (Ed.), InTech. – 2012.
3. № 2014660657 Российская федерация. Программа моделирования акустических полей фазированных преобразователей «PATAF Simulator» / Муравьева О. В., Мышкин А. В., Муравьев В. В., Леньков С. В., Мышкин Ю. В. ; заявл. 28.08.2014, опубл. 13.10.2014.
4. *Буденков, Г. А*. Динамические задачи теории упругости в приложении к проблемам акустического контроля и диагностики / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая. – М. : Изд-во физ.-мат. лит., 2004. – 136 с.

УДК 620.179.17

А. В. Платунов, зав. лабораторией УОСП
E-mail: uosp@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

К возможности регистрации акустической эмиссии в металлических проволоках при растяжении

В работах [1, 2] проведены исследования структурного и напряженно-деформированного состояния тонких металлических проволок с помощью бесконтактных электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМАП), показана возможность приемочного акустического контроля металлической проволоки при ее производстве.

Одним из наиболее выгодных вариантов неразрушающего контроля протяженных объектов без их отрыва от эксплуатации является метод акустической эмиссии (АЭ).

Поиск сигналов АЭ в растягиваемых образцах проволоки проводился с использованием двух приемных ЭМАП [2]. В качестве исследуемых образцов были выбраны металлические проволоки без видимых или обнаруженных эхо-импульсным методом дефектов, проволоки с перегибами, созданными в результате неправильной намотки или хранения, а также образцы с искусственно нанесенными локальными дефектами (вмятины).

Дискретные сигналы АЭ регистрировались с помощью установки, схема которой показана на рис. 1. При приложении одноосной растягивающей нагрузки σ_{xx} присутствующий в образце склонный к росту внутренний или поверхностный дефект становится источником АЭ. Сигналы от источника распространяются по объекту контроля на преобразователи акустической эмиссии – ПАЭ1 и ПАЭ2, в роли которых выступают экранированные ЭМАП с числом витков $N = 200$.

Снимаемые сигналы поступают на АЦП производства ООО «Л Кард», где преобразуются в цифровую форму. Параметры и тип использованного АЦП указаны в таблице. Модуль АЦП подключается к персональному компьютеру через интерфейс *USB*. Для обработки сигналов на компьютере использовано программное обеспечение *PowerGraph* демонстрационной версии.

© Платунов А. В., 2015

Работа выполнялась в рамках задания № ГШ-2-14 на проведение НИР в рамках мероприятия 3.1.2 «Организация и проведение конкурсов в образовательной и научно-исследовательской деятельности для аспирантов и молодых научно-педагогических работников вуза» Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» на 2012–2016 годы.

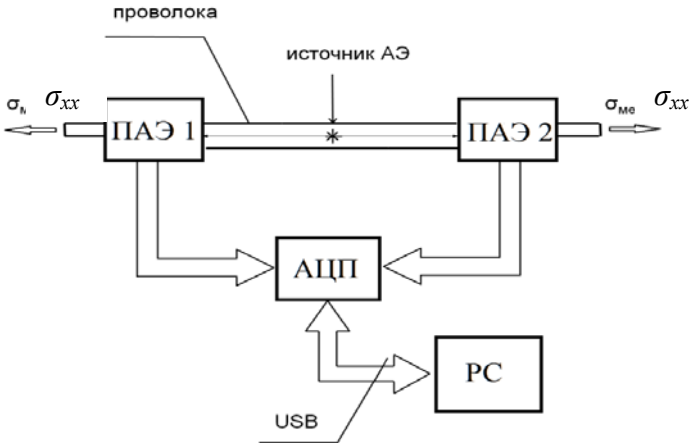


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования сигналов акустической эмиссии в проволоке

Основные технические характеристики АЦП

Тип АЦП	E20-10
Количество каналов (в т.ч. используемых каналов)	4 (2)
Разрядность АЦП, бит	14
Входные поддиапазоны, В	±3,0; ±1,0; ±0,3
Входное сопротивление аналогового входа АЦП, МОм	10
Максимальная частота преобразования, МГц	10
Полоса пропускания сигнала каждого канала, МГц	1,2

На проволоках с имеющимися искусственными дефектами регистрировались сигналы на обоих каналах. При этом экспериментальная погрешность локализации составила не более ±2 мм для участков проволоки 500 мм и случайного расположения источника АЭ. Общий вид регистрируемых сигналов показан на рис. 2.

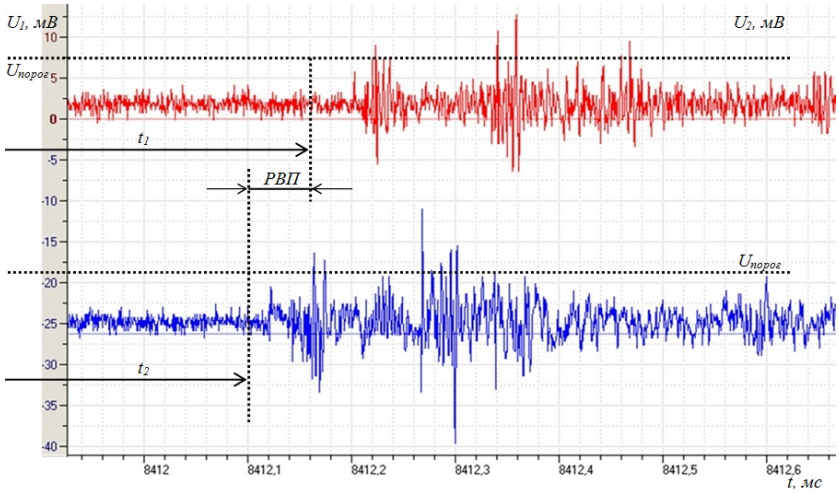


Рис. 2. Сигналы АЭ в проволоке с разницей времен прихода (РВП)

Сигнал считался зарегистрированным при превышении определенного порогового уровня $U_{\text{порог}}$, выбираемого экспериментально. Если t_1 – время регистрации сигнала АЭ на первом канале, t_2 – время регистрации сигнала АЭ на втором канале, расстояние от ПАЭ1, взятого за начало координат, до источника АЭ – x, а расстояние между двумя ПАЭ составляет L, справедлива запись:

$$x = \frac{C(t_1 - t_2) + L}{2}. \qquad (1)$$

Разница $t_1 - t_2$ называется величиной РВП (разницей времен прихода), с учетом этого расчетная формула координаты источника АЭ запишется:

$$x = \frac{C \cdot РВП \cdot L}{2}. \qquad (2)$$

При проведении исследования АЭ в проволоке была выявлена следующая проблема – высокий уровень шумов. Для ее решения необходим поиск и использование готовых предусилителей ПАЭ, обоснование выбора порога срабатывания и браковочных критериев, проведение исследований с проволочными канатами, что, несомненно, является перспективным направлением работ.

Список литературы

1. *Муравьев, В. В.* Исследования акустоупругих характеристик стержневой волны в термически обработанных стальных проволоках электромагнитно-акустическим методом / В. В. Муравьев [и др.] // Дефектоскопия. – 2012. – № 8. – С. 3–15.

2. *Блинов, К. С.* Многосекционный датчик для контроля тонких металлических проволок электромагнито-акустическим способом // К. С. Блинов, А. В. Платунов / Измерения, контроль и диагностика – 2012 : сб. материалов II Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием (Ижевск, 14–16 мая 2012 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – С. 31–35.

УДК 620.179.162

Р. Р. Хасанов, студент
А. В. Пряхин, зав. лабораторией
В. А. Стрижак, канд. техн. наук, доцент
E-mail: beif@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Модификация генератора зондирующих импульсов дефектоскопа АДНШ

Неразрушающий контроль с использованием волноводного акустического метода реализован в двух устройствах: дефектоскоп АДНШ для контроля прутков диаметром Ø15–36 мм и дефектоскоп АДНКТ для контроля насосно-компрессорных труб Ø 57–89 мм. Одним из направлений развития данного вида оборудования является переход на полностью бесконтактный датчик для дефектоскопа АДНШ и возможность контроля труб в путепроводах с использованием дефектоскопа АДНКТ. Данное направление требует разработки новых датчиков и модификации электронной схемы. Изменение параметров узла генерации импульсов для решения поставленных задач является общим решением для обоих дефектоскопов и требует построения генератора двойного ударного импульса.

Дефектоскоп АДНШ в качестве излучателя использует бесконтактный электромагнитно-акустический (ЭМА) преобразователь. ЭМА пре-

© Хасанов Р. Р., Пряхин А. В., Стрижак В. А., 2015

Работа выполнена в рамках проекта № 3.751.2014/К по государственному заданию Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годах в рамках проектной части проведения научно-исследовательских работ.

образователь характеризуется рядом существенных эксплуатационных достоинств, в частности: возможность работы через воздушный зазор без применения контактных жидкостей, в том числе в условиях высоких температур; отсутствие износа ЭМА преобразователей; независимость результатов контроля от перекосов преобразователей относительно поверхности объекта и от наличия на поверхности изделия ржавчины, окалины, краски, загрязнений. Для дефектоскопа АДНШ двойной ударный импульс позволит реализовать двухполярное возбуждение излучателя. Это позволит исключить влияния зондирующего импульса на приемный ЭМА-преобразователь [1].

Структурная схема генератора дефектоскопа АДНШ приведена на рис. 1. Схема использует ключевой элемент, незапираемый тиристор, в системе датчик L и конденсатор C. В качестве генератора высокого напряжения используется схема повышения напряжения на трансформаторе с низковольтного питания +15 В до напряжения 350 В. Резистор R1 ограничивает ток во вторичной обмотке. Излучатель L выполнен в виде катушки индуктивности, надеваемой на объект контроля. Частота колебаний задается LC контуром определяемым параметрами конденсатора C и катушки индуктивности L. Временная диаграмма работы устройства приведена на рис. 2. В качестве управляющего сигнала используются импульс «Разрешение». Длительность импульса определяет время заряда конденсатора C. По спадающему фронту сигнала «Разрешение» блоком управления формируется импульс, поступающий на ключ К. В момент замыкания ключа К (рис. 1) образуется параллельный колебательный контур, состоящий из заряженного конденсатора C и индуктивности L. Резистор Rб необходим для ограничения токов в системе и снижения длительности колебательного процесса.

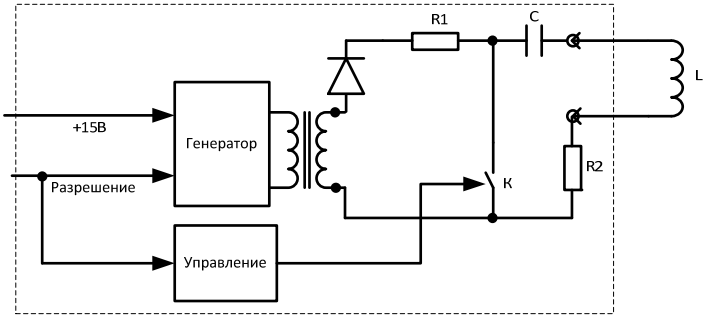


Рис. 1. Структурная схема генератора АДНШ

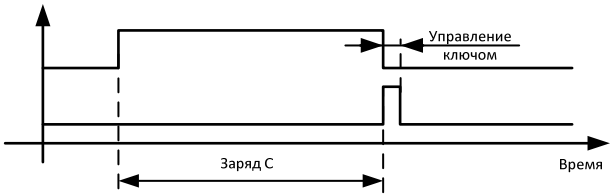


Рис. 2. Временная диаграмма работы генератора АДНШ

Узел генерации двойного ударного импульса должен решать набор дополнительных задач. Импульс запуска должен быть синхронизирован с индустриальными помехами 50 Гц. По результатам работы генератора должен быть сформирован импульс синхронизации для информационной системы дефектоскопа. Это позволит реализовать подавление случайных помех методом усреднения по множеству реализаций [2]. Структурная схема модифицированного генератора приведена на рис. 3. Временная диаграмма работы модифицированного генератора приведена на рис. 4. Импульс для ключа К2 задерживается на интервал времени «Задержка», регулируемый при помощи подстрочного резистора R. Импульс синхронизации «Синхро» формируется совместно с импульсом управления для ключа К1. Остальные компоненты схемы работают аналогично прототипу. Схема управления промоделирована в программной среде *Multisim*.

Узел выполнен на элементах низкой степени интеграции. На текущем этапе для отладки и поиска оптимальных параметров управляющих сигналов в схему введен элемент подстройки, выполненный на многооборотном переменном построечном резисторе. Впоследствии схема может быть оптимизирована под использование ОЭВМ в качестве узла управления модифицированного генератора.

Принципиальная схема узла управления генератором импульсов приведена на рис. 5. Изображение схемы получено из программной среды сквозного проектирования *Altium Designer*. На рис. 6 приведена разработанная печатная плата.

Для согласования импульса синхронизации с платой АЦП выход микросхемы DD2A буферизирован транзистором VT1 и трансформатором T1. Использование трансформатора позволяет реализовать гальванически изолированную связь.

Узлы подготовки высокого напряжения, ключевые и частотно задающие элементы вынесены на отдельную печатную плату.

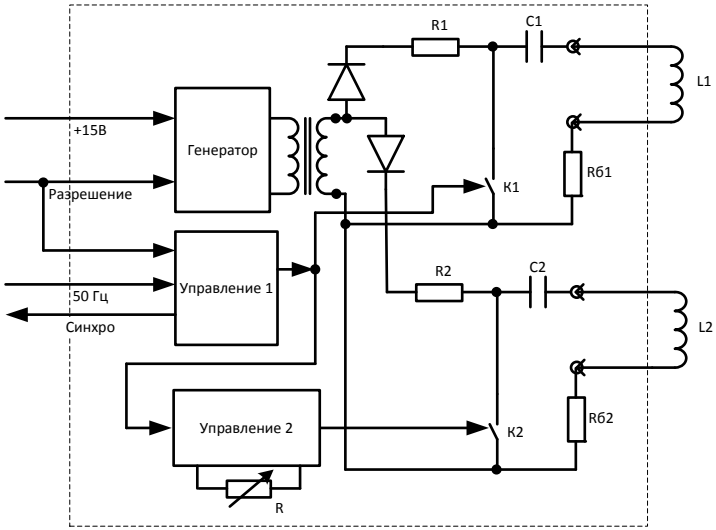


Рис. 3. Структурная схема модифицированного генератора

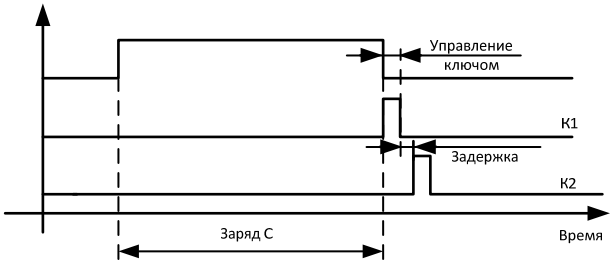


Рис. 4. Временная диаграмма работы модифицированного генератора

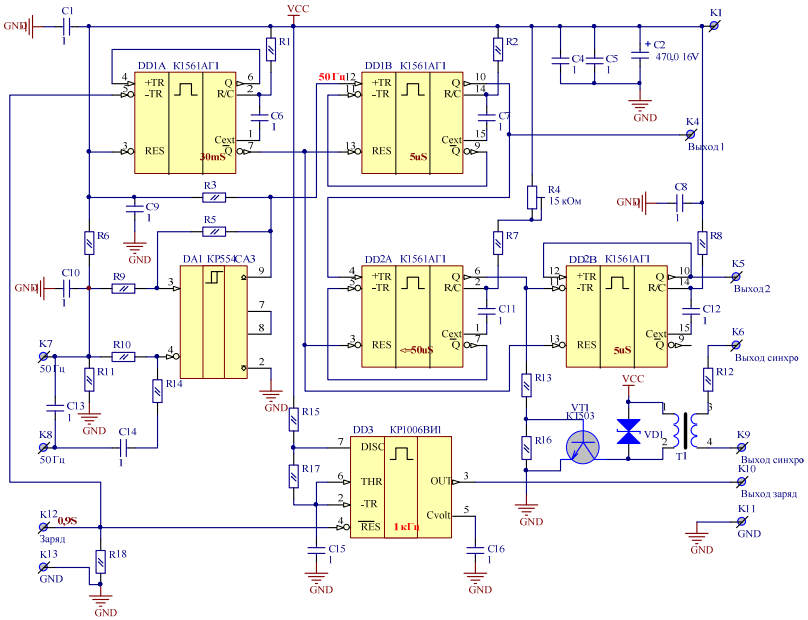


Рис. 5. Принципиальная схема узла управления генератором импульсов

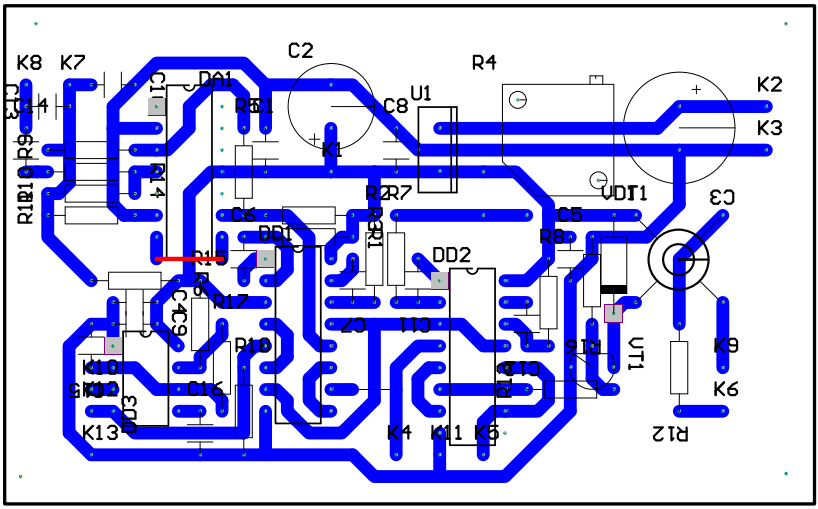


Рис. 6. Печатная плата узла управления

Проведенная инженерная проработка блока генератора двойного ударного импульса позволяет построить лабораторный стенд для продолжения исследований бесконтактного ЭМА метода с использованием информационной среды дефектоскопов АДНШ/АДНКТ, реализующих волноводный акустический метод контроля.

Список литературы

1. *Злобин, Д. В*. Особенности построения аппаратуры электромагнитно-акустической дефектоскопии пруткового проката с использованием стержневых волн / Д. В. Злобин, О. В. Муравьева // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та. – 2012. – № 4. – С. 99–104.

2. Информационно-измерительная система возбуждения, приема, регистрации и обработки сигналов электромагнитно-акустических преобразователей / В. А. Стрижак [и др.]. – Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 243–250.

3. *Суходольский, В. Ю*. Altium Designer: сквозное проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах : учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2014. – 560 с. ; ил.

УДК 620.179.162

Р. Р. Хасанов, студент
А. В. Пряхин, зав. лабораторией
В. А. Стрижак, канд. техн. наук, доцент
E-mail: beif@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Оптимизация параметров схемы возбуждения ЭМА датчика

Неразрушающий контроль с использованием волноводного акустического метода реализован в дефектоскопе АДНШ для контроля тела прутков диаметром Ø15–36 мм. Одним из направлений эволюции дефектоскопа АДНШ является переход на бесконтактный датчик приема акустических сигналов. Использование бесконтактных электромагнит-

© Хасанов Р. Р., Пряхин А. В., Стрижак В. А., 2015.

Работа выполнена в рамках проекта № 3.751.2014/К по государственному заданию Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» на 2014–2016 годы в рамках проектной части проведения научно-исследовательских работ.

но-акустических (ЭМА) преобразователей обусловлено рядом существенных эксплуатационных достоинств, в частности:

– возможность контроля через воздушный зазор без применения контактных жидкостей, в том числе в условиях высоких температур;

– отсутствие износа ЭМА-преобразователей;

– независимость результатов контроля от перекосов преобразователей относительно поверхности объекта и от наличия на поверхности изделия ржавчины, окалины, краски, загрязнений.

Недостатком ЭМА-преобразователей является низкий коэффициент преобразования [1]. Для преодоления этого недостатка, кроме использования сложных систем выделения информации на фоне помех [2], необходимо увеличить эффективность возбуждения акустических импульсов. Данное направление требует как разработки новых датчиков, так и модификации электронной схемы. Оптимизация элементов схемы генератора позволит лучше адаптировать излучатель к прутковому прокату по ГОСТ 13877–96 [3].

Узел, отвечающий за колебательную систему, образован компонентами электрической схемы (рис. 1) ключ К, конденсатор С, балластный резистор R2 и датчиком индуктивностью L. Система настроена на частоту 50 кГц. Для оптимизации параметров этих компонентов проведено моделирование схемы в программной среде *Mathcad*. Моделирование проведено с использованием решения задачи о математическом описании колебательного контура [4].

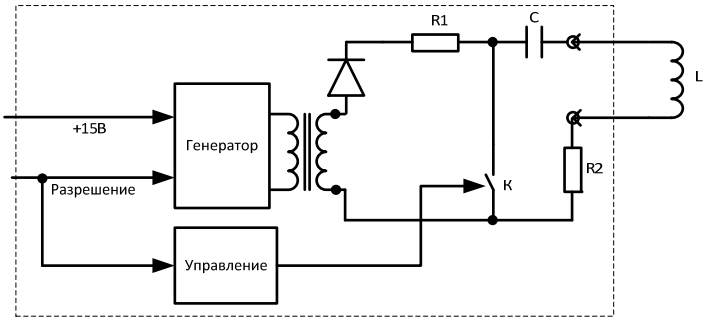


Рис. 1. Структурная схема генератора АДНШ

Целевым параметром оптимизации является получение максимальной величины импульса поля в излучателе, реализованном в виде катушки *L* (рис. 1). Импульс поля пропорционален произведению тока в катушке *I* на количество витков катушки *N* (*IN*). Ограничивающим эле-

ментом в схеме является значение максимально допустимого тока в ключе. К сожалению, рынок ключевых элементов для решения поставленной задачи на текущий момент не велик. Использование модного IGBT-транзистора в качестве высоковольтного ключа (более 200В) ограничено по току (менее 30А). Типовым решением является использование тиристора с обратной проводимостью. Рынок этих устройств растет со скоростью 10–12 % в год [5]. В отличие от IGBT-транзистора управление тиристором не требует существенных энергетических затрат. Популярный импульсный высокочастотный тиристор 2У221А обеспечивает импульсный ток в открытом состоянии I = 100 А, постоянное напряжении в закрытом состоянии U = 500В и скорость нарастания тока в открытом состоянии dI/dt = 1300 А/мкс [6].

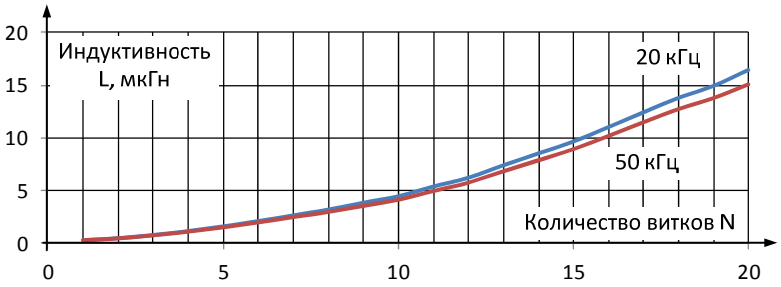


Рис. 2. Зависимость индуктивности L от количества витков N катушки на частотах 20 кГц и 50 кГц

Схемотехнической особенностью датчика являются нелинейная зависимость индуктивности L от количества витков катушки на разных рабочих частотах. Индуктивности катушки на частотах 20 и 50 кГц в зависимости от количества витков приведены на рис. 2. Измерения проведены с использованием измерителя иммитанса Е7-20. Катушка намотана медным проводом в изоляции с диаметром жилы 0,49 мм на оправку из гетинакса Ø27 мм. Ширина намотки составляет 10 мм. В центр катушки помешен пруток заготовки штанги из нормализованной стали марки 40 [3]. Уменьшение индуктивности катушки в среднем составило 7 %. при изменении частоты с 20 до 50 кГц Уменьшение индуктивности при уменьшении частоты вызвано электромагнитными свойствами сердечника. На квадратичный рост индуктивности катушки влияет как межвитковая взаимосвязь, так и изменение количества слоев катушки при изменении количества витков.

Расчет системы произведен в программной среде *MathCad* с учетом параметров блока генератора АДНШ: напряжение на катушке в момент замыкания ключа соответствует напряжении на конденсаторе – E = 350 В, частота резонанса – 50 кГц. Напряжение на катушке U и ток I в переходном колебательном процессе рассчитывается по формулам (1), (2):

$$U = \frac{E}{\omega_0 \sqrt{L \cdot C}} \cdot e^{\delta \cdot t} \cdot \sin\left(\omega_0 \cdot t + a \tan \frac{\omega_0}{\delta} \right), \tag{1}$$

$$I = \frac{E}{\omega_0 \cdot L} \cdot e^{\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \pi), \tag{2}$$

где L – индуктивность катушки; C – емкость частотозадающего конденсатора; R – суммарное омическое сопротивление всех цепей участвующих в работе, в том числе соединяющих катушку с элементами схемы; δ – коэффициент затухания системы (3); ω_0 – циклическая частота колебательного процесса (4).

$$\delta = \frac{E}{2 \cdot L}. \tag{3}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R^2}{4 \cdot L^2}}. \tag{4}$$

Напряжение и ток на катушке в переходном колебательном процессе представляют собой затухающие синусоиды, сдвинутые друг относительно друга на угол.

На затухание колебательной системы оказывает влияние активное сопротивление R. При расчете необходимо учесть, что затухание должно быть значительным, чтобы не увеличивать мертвую зону (зона в которой контроль еще не возможен из-за действия зондирующего импульса, РШХ – реверберационно-шумовая характеристика). В дефектоскопе АДНШ размер мертвой зоны определен в 600 мкс, что для скорости УЗ-волны – Cv = 5200 м/с составляет около 1 м (движение акустического импульса от датчика и обратно). Рекомендуемый уровень браковки определен на уровне 0,5 %. Данные параметры могут быть использованы для оценки минимального активного сопротивления в колебательной системе. Зададимся значениями РШХ $Trhx$ = 400 мкс и уровнем $Urhx$ = = 0,1 %.

Активное сопротивление катушки напрямую зависит от количества витков и рассчитывается исходя из сопротивления 1 м медной жилы Ø0,49–93 [мОм/м] и диаметра оправки. Сопротивление подводящего

кабеля 1,5 м с медной жилой площадью сечения 0,5(0,32) [мм^2] составляет около 107(165) [мОм]. Сопротивление открытого ключа 35 [мОм]. Таким образом, минимальное схемное значение активного сопротивления в системе *Rmin* = 143(200) + 7,9*N* [мОм], где *N* – количество витков. Исходя из требований длительности РШХ для переходного колебательного процесса можно рассчитать минимальное сопротивление *R* для катушки с *N* витками: $Rrhx = -\ln(Urhx)\cdot 2LN/(Trhx)$, где *LN* – индуктивность катушки с *N* витками.

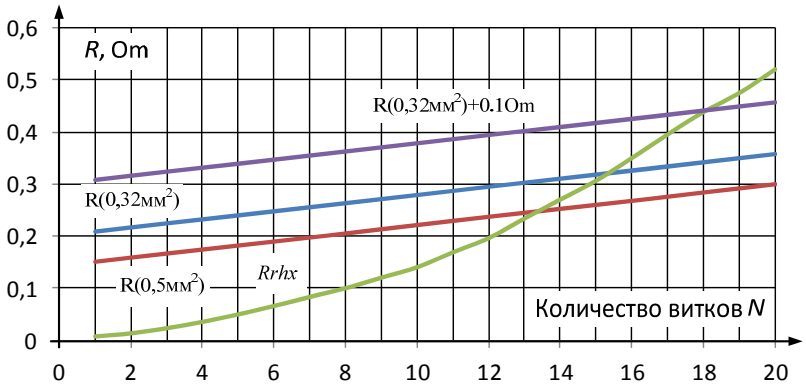


Рис. 3. Значения минимальных активных сопротивлений в колебательной системе

На рис. 3 приведены значения активного минимального сопротивления в колебательной системе при сечениях медной жилы 0,5(0,32) [мм^2] с учетом подводящего провода и минимальное сопротивление рассчитанное из требований длительности РШХ. Таким образом, минимальное сопротивление в системе необходимо увеличивать только в случае 14 и более витков.

Результаты моделирования представлены на графике (рис. 4). Значение *IN* при разных величинах внутреннего сопротивления системы имеют максимумы при различных значениях количества витков катушки. Уменьшение внесенного сопротивления в системе приводит к увеличению максимального тока в системе и большему значению *IN*. К сожалению, на систему накладывается ограничение по максимальному току *I*, проходящему через ключ. Для используемого в дефектоскопе ключа 2У221А это значение составляет 100 А. Таким образом, 7 витков излучателя с проводом медной жилой площадью сечения 0,5(0,32) [мм^2] и

ограничивающим резистором в 0,1 Ом переводят ключ в недекларируемый режим работы, что может приводить к возникновению неисправностей. Тиристор 2У222 с импульсным током в открытом состоянии – 400 А является предпочтительным. К недостаткам тиристора 2У222 следует отнести его значительный размер Ø54 · 14 мм. Перспективным можно считать применение новых разработок триодов фирмы *IXYS* (например, MCC 310–08 имеет разрешенный режим работы 9,2 кА при напряжении 800 В) [5].

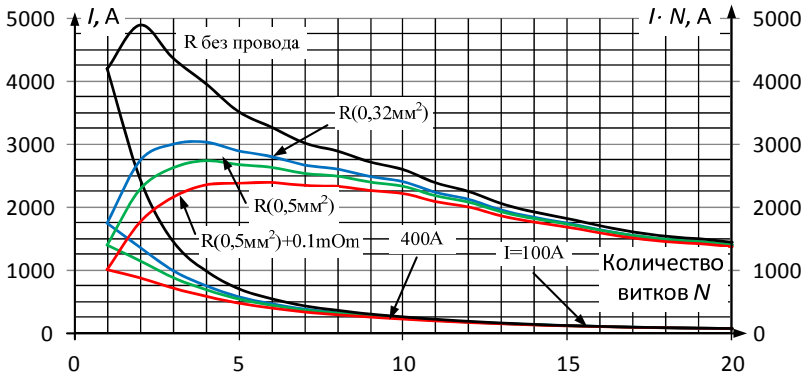


Рис. 3. Максимальные токи и значение произведения тока на количество витков в зависимости от количества витков катушки

К недостаткам предложенной методики расчета следует отнести отсутствие учета внутреннего сопротивления конденсатора и наличие в системе сердечника (объект контроля) с нелинейностью и возможностью насыщения.

Проведен анализ системы возбуждения ЭМА-датчика с целью получения в импульсе максимального поля, что позволяет построить лабораторный стенд для продолжения исследований бесконтактного ЭМА метода с использованием информационной среды дефектоскопов АДНШ/АДНКТ, реализующих волноводный акустический метод контроля.

Список литературы

1. *Злобин, Д. В.* Особенности построения аппаратуры электромагнитно-акустической дефектоскопии прутковой проката с использованием стержневых волн / Д. В. Злобин, О. В. Муравьева // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та. – 2012. – № 4. – С. 99–104.

2. Информационно-измерительная система возбуждения, приема, регистрации и обработки сигналов электромагнитно-акустических преобразователей / В. А. Стрижак [и др.]. – Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 243–250.

3. ГОСТ 13877–96. Штанги насосные и муфты штанговые. Технические условия // Standart.GOST.ru : открытая база ГОСТов. – URL: http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_13877-96

4. *Бессонов, Л. А*. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М. : Гардарики, 2002. – 638 с.

5. *Бредли, Грин* (Bradley Green). Как технологические инновации способны дать новую жизнь тиристорам в XXI веке / Бредли Грин (Bradley Green), Холгер Остманн (Holger Ostmann), Йерен ван Зееланд (Jeroen van Zeeland) / пер. Иван Полянский. – Мир электронных компонентов. – 2014. – № 1. – С. 44–47.

6. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры : справ. / Гитцевич А. Б. [и др.]. – М. : Радио и связь, 1988. – 528 с.

Секция 3. ПРИБОРЫ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

УДК 621.313.32

Е. Н. Алексеев, магистрант
E-mail: aleks-jane111@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Методы испытания электропривода по системе «преобразователь частоты – синхронный двигатель»

В настоящее время синхронные двигатели получили широкое применение в производстве благодаря развитию полупроводниковой техники, а именно – преобразователей частоты. Применение электроприводов по системе «преобразователь частоты – синхронный двигатель» требует определенных методов испытания [1–5].

Синхронные трехфазные двигатели широко применяются в электроприводах разнообразных производственных механизмов, что объясняется их высокими технико-экономическими показателями. Этот двигатель имеет высокий коэффициент мощности cosφ, близкий к единице или опережающий. Способность синхронного двигателя работать с опережающим cosφ и отдавать при этом в сеть реактивную мощность позволяет улучшить экономичность и режим работы системы электроснабжения. Коэффициент полезного действия таких современных двигателей составляет 96–98 %, что на 1–1,5 % выше коэффициента полезного действия асинхронного двигателя с теми же габаритными размерами и скоростью. В синхронных двигателях возможно регулирование перегрузочной способности посредством регулирования тока возбуждения. Причем она меньше зависит от напряжения сети, чем в асинхронных двигателях. Синхронный двигатель имеет абсолютно жесткую механическую характеристику. Благодаря перечисленным преимуществам в современных электроприводах все чаще используются синхронные двигатели. А развитие полупроводниковой техники дало возможность регулировать скорость вращения двигателей данного типа, что еще больше расширило их применение.

© Алексеев Е. Н., 2015

Регулирование скорости вращения синхронного двигателя может осуществляться за счет изменения частоты питающего напряжения. Для этой цели используют преобразователь частоты.

Испытания электропривода по системе преобразователь частоты – синхронный двигатель проводят с целью проверки соответствия их параметров требованиям стандартов или технических условий. Для этой системы должны отдельно рассматриваться методы испытаний синхронных двигателей и отдельно – преобразователей частоты. Если отнести методы испытания к электроприводу по системе преобразователь частоты – синхронный двигатель, то в этом случае будут использованы те же методы испытания синхронных двигателей, но уже при различных частотах питающего напряжения.

Испытания синхронных двигателей проводятся согласно ГОСТ 183–74 «Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования», ГОСТ 10169–77 «Машины электрические трехфазные синхронные. Методы испытаний».

Согласно ГОСТ 183–74 и ГОСТ 10169–77 синхронные двигатели должны подвергаться следующим испытаниям:

1) определение электрического сопротивления изоляции обмоток между обмотками и относительно корпуса машины;

2) определение электрического сопротивления обмоток при постоянном токе в холодном состоянии;

3) испытание при повышенных оборотах вращения;

4) испытание электрической изоляции обмоток между обмотками и относительно корпуса на электрическую прочность;

5) испытание междувитковой электрической изоляции обмоток переменного тока на электрическую прочность;

6) установление характеристики холостого хода;

7) установление характеристики трехфазного короткого замыкания и тока третьей гармонической;

8) определение тока возбуждения в режиме ненагруженного перевозбужденного двигателя при номинальном токе статора и номинальном напряжении;

9) установление U-образной характеристики;

10) установление регулировочной характеристики;

11) испытание на кратковременную токовую перегрузку;

12) определение коэффициента полезного действия, потребляемого тока, потребляемой мощности, коэффициента мощности при номинальной мощности на валу двигателя;

13) испытание на нагревание;

14) установление синхронных индуктивных сопротивлений;

15) установление начального пускового тока и начального пускового момента двигателя;

16) определение момента входа в синхронизм и максимального момента вращения;

17) измерение уровня шума и вибрации.

Испытания преобразователей частоты проводятся согласно ГОСТ 26567–85 «Преобразователи электроэнергии полупроводниковые. Методы электрических испытаний»

Согласно ГОСТ 26567–85 преобразователи частоты должны подвергаться следующим испытаниям:

1) определение сопротивления электрической изоляции;

2) проверка электрической прочности изоляции преобразователя;

3) определение сопротивления заземления металлических частей преобразователя, которые доступны прикосновению;

4) проверка функционирования преобразователя частоты;

5) проверка распределения тока по параллельно соединенным силовым полупроводниковым приборам и установление коэффициента неравномерности распределения токов;

6) проверка распределения напряжения по последовательно соединенным силовым полупроводниковым приборам и установление коэффициента неравномерности распределения напряжений;

7) испытание преобразователя на нагрев;

8) установление значения к.п.д.;

9) проверка преобразователя частоты на воздействие кратковременного повышенного напряжения;

10) установление выходного напряжения преобразователя;

11) проверка на воздействие перегрузки в течение нормированного периода;

12) проверка преобразователя на устойчивость к внутренним коротким замыканиям;

13) проверка преобразователя на устойчивость к воздействию внешних коротких замыканий;

14) установление значения установившегося отклонения выходного переменного напряжения преобразователя;

15) установление регулируемой уставки выходного переменного напряжения преобразователя;

16) установление значений переходных отклонений выходного переменного напряжения, а также времени восстановления напряжения преобразователя;

17) определение диапазона изменения выходного переменного напряжения преобразователя;

18) определение частоты выходного напряжения, значения установившегося отклонения частоты напряжения преобразователя;

19) определение диапазона изменения частоты выходного напряжения преобразователя;

20) определение отношения выходного напряжения преобразователя к частоте;

21) установление коэффициента амплитудной модуляции напряжения;

22) установление гармонических составляющих выходного напряжения преобразователя;

23) установление коэффициента искажения синусоидальности кривой выходного напряжения преобразователя;

24) установление коэффициента мощности;

25) установление коэффициента небаланса напряжений трехфазного тока.

Анализируя представленные методы испытаний, можно утверждать, что для получения однозначных результатов испытаний необходимо соблюдать требования, предъявляемые к классу точности измерительных приборов, к схемам измерения, условиям испытания и оборудованию, используемому при испытаниях. Именно поэтому все методы испытаний стандартизованы. Причем отдельные разделы этих стандартов непрерывно совершенствуются.

Повышению точности и эффективности испытаний способствуют следующие основные тенденции:

– непрерывное совершенствование измерительных устройств при все более растущей тенденции к использованию электронных измерительных устройств;

– автоматизация испытательных конвейеров; это определено тем, что в технологическом процессе производства электрических машин испытания являются одним из этапов производственного процесса; следовательно, современные тенденции всемирной автоматизации и роботизации производства не могут обойти этапа испытаний;

– все большее использование персональных компьютеров при испытаниях. Это определено тем, что с помощью ЭВМ удобно управлять процессом испытаний, обрабатывать результаты, осуществлять управление качеством электродвигателей.

Список литературы

1. *Гольдберг, О. Д.* Испытания электрических машин : учеб. для вузов. – 2-е издание, испр. – М. : Высш. шк., 2000. – 255 с. ; ил.

2. *Жерве, Г. К.* Промышленные испытания электрических машин. – 4-е изд., сокр. и перераб. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. – 408 с. ; ил.

3. ГОСТ 183–74 Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования // Библиотека ГОСТов. – URL: http://vsegost.com/Catalog/41/41213.shtml

4. ГОСТ 26567–85 Преобразователи электроэнергии полупроводниковые. Методы испытаний // Библиотека ГОСТов. – URL: http://vsegost.com/Catalog/20/20296.shtml

5. ГОСТ 10169–77 Машины электрические трехфазные синхронные. Методы испытаний // Библиотека ГОСТов. – URL: http://vsegost.com/Catalog/33/33478.shtml

УДК 621.32(045)

Е. Я. Ардашев, студент
И. В. Штенников, канд. тех. наук, доцент
E-mail: vaseman94@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Электрические фонари периферийного освещения

Электрические фонари находят широкое применение в условиях отсутствия или недостатка естественного или искусственного освещения. Распространенным их вариантом являются электрические налобные фонари. Промышленно выпускаемые налобные фонари, при эксплуатации в условиях перемещения в темное время суток по пересеченной местности, обладают рядом недостатков [Бирюков С. Н. Светодиодные налобные фонари для занятий лыжным спортом // Лыжный спорт. 2011. № 53]:

– узкий пучок света, охватывающий малую площадь и имеющий ярко выраженную границу,

– недолговременная работа часто используемых в автономных источниках света алкалиновых элементов питания, которая при низких температурах еще более снижается,

– невысокая ударопрочность, низкая влагозащищенность,

– неудобство управления, которое осуществляется в большинстве фонарей одной кнопкой, поэтому при переходе в желаемый режим работы порой приходится несколько раз нажимать кнопку переключения.

В связи с этим возникает целесообразность создания налобного электрического фонаря периферийного освещения с повышенной продолжительностью непрерывной работы, удобного при эксплуатации в походных условиях.

Для этого необходимо было решить следующие задачи:

© Ардашев Е. Я., Штенников И. В., 2015

– увеличить угол освещения;

– добиться равномерного распределения света по всей освещаемой площади, световым потоком не менее 400 Лм;

– увеличить продолжительность непрерывной работы при низких темпаратурах;

– о беспечить ударопрочность, влагоустойчивость, эргономичность.

В работе существующих электрических фонарей используются в основном два типа световых пучков:

– узкие сфокусированные пучки (рис. 1, *а*);

– широкие пучки (рис. 1, *б*).

В сфокусированном пучке свет концентрируется для освещения небольшой площади на больших расстояниях, он имеет малый угол освещения и может быть точно направлен на интересующий объект.

Широкий пучок создает ближний свет для деятельности, при которой необходим широкий угол освещения, например, в помещении.

а *б*

Рис. 1. Световые пятна при узком (*а*) и широком (*б*) пучке света

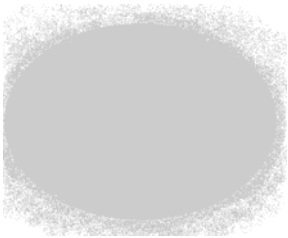


Рис. 2. Световое пятно периферийного пучка света

Каждый пучок имеет остаточную компоненту, которая гораздо шире основного пучка, являющуюся периферийным светом. Этот периферийный свет делает фонарь более универсальным и удобным в использовании (рис. 2).

Таким образом, задача увеличения угла излучаемого света подразумевает рассеяние основного пучка в периферийный свет и устранение четкой границы светового пятна.

Получение равномерного рассеянного пучка света достигается исключением из фонаря оптической линзы и рефлектора.

В качестве источника света наиболее целесообразно использовать светодиоды, обладающие высокой светоотдачей, большим к.п.д., длительным сроком службы.

Светодиоды располагались на плоскости. Необходимая яркость достигалась включением в плату большего количества светодиодов (4 све-

тодиода мощностью 1 Вт и 18 светодиодов мощностью 0,125 Вт) и составляла по подсчётам в общей сложности не менее 500 Лм (рис. 3)

Рис. 3. Светодиодная матрица в корпусе

В качестве источника питания светодиодов использовался *Li-ion*-аккумулятор типа-размера 18650 емкостью 2200 мАч, напряжением 3,7 В.

Преимущества *Li-ion*-аккумуляторов:

– стабильная работа при низких температурах,

– низкий саморазряд,

– хорошее сочетание в работе с наиболее распространенными светодиодами,

– наивысшая ёмкость на единицу массы.

Корпус электрического фонаря должен обладать: повышенной ударопрочностью, влагозащищенностью, малым весом, удобным размещением на голове.

При размещении электрического фонаря на голове, целесообразно светодиодную плату с радиатором и источник питания разместить в разных корпусах. В затылочной части располагается источник питания, а в лобной – плата со светодиодами. Это уравновешивает всю осветительную систему, размещаемую на голове.

В качестве материалов конструкции корпусов фонарей использовались:

– берёза – достаточно прочный, твердый материал, хорошо обрабатываемый, доступный; при нанесении защитного лака, обеспечивает удовлетворительную влагозащищённость;

– алюминий – легкий, более прочный, устойчив к атмосферным воздействиям, обладающий высокой теплопроводностью, хорошей обрабатываемостью и др.;

– резина и клей применяются для обеспечения герметичности разборных соединений; резина – эластичный, морозостойкий материал,

обладает хорошей адгезией к каучуковым клеям, которые заполняют неровности сопрягаемых поверхностей;

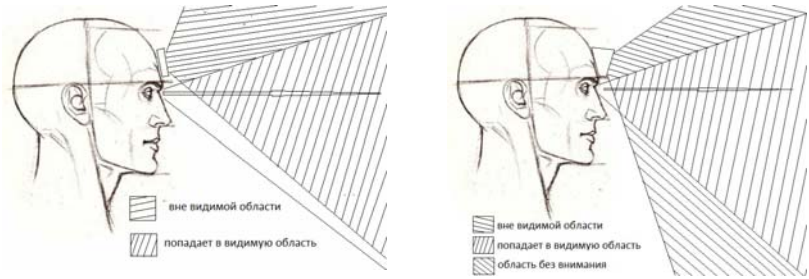
– эластичная стропа соединяет источник питания со светодиодным блоком при размещении фонаря на голове;

– оргстекло – по сравнению с обычным стеклом оно более ударостойкое, легко обрабатывается;

– поролон повышает комфортность использования налобного фонаря при контакте корпуса фонаря с головой.

При размещении фонаря на голове имеет значение, куда направлен основной световой поток. Если светодиодный блок выполнен в виде параллелепипеда, то при размещении его на голове основной световой поток направлен выше видимой области (рис. 4, *а*).

Во втором варианте налобного фонаря учтены особенности анатомии головы, изменена форма корпуса со светодиодной матрицей, размещаемой в налобной части головы, так что теперь основной световой поток направлен в видимую область (рис. 4, *б*).



а *б*

Рис. 4. Распространение светового потока в зависимости от формы корпуса светодиодного блока, первой (*а*) и второй модели (*б*)

Кроме этого, во втором варианте фонаря модернизирован блок питания, который содержит уже два *Li-ion*-аккумулятора, что увеличивает продолжительность непрерывной работы фонаря на 50–60 % и дает возможность эксплуатации фонаря в случае разряда или выхода из строя одного из аккумуляторов.

На рис. 5 приведен внешний вид двух вариантов разработанных налобных электрических фонарей, а в таблице представлены их основные технические характеристики.

а

б

Рис. 5. Внешний вид электрических налобных фонарей:
а – первая модель, *б* – вторая модель

Таблица. **Характеристики электрических налобных фонарей**

Параметр	Первая модель	Вторая модель
Рабочее напряжение, В	3,7	3,7
Количество светодиодов, мощностью 1 Вт	4	5
Количество светодиодов, мощностью 0,125 Вт	18	25
Световой поток, Лм	Не менее 450	Не менее 650
Потребляемый ток, мА	1700	2200
Количество аккумуляторов	1	2
Продолжительность работы, мин.	90	140

Разработанные конструкции электрических фонарей периферийного освещения характеризуются:

– увеличенным углом освещения за счет использования матрицы светодиодов без линзы, обеспечивая световой поток не менее 450 Лм;

– повышенной продолжительностью непрерывной работы устройства до 140 минут, благодаря применению *Li-ion*-аккумуляторов;

– достаточной механической прочностью, влагозащищенностью.

УДК 621.37 (045)

Г. Д. Бабошкин, магистрант
Е. О. Данилов, магистрант
П. А. Ушаков, д-р техн. наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Анализ частотных характеристик электрических цепей, содержащих фрактальные элементы

Фрактальные элементы (двухполюсные элементы, импеданс которых зависит от частоты в дробной степени α) все шире входят в практику моделирования природных и технических систем, динамические свойства которых описываются дифференциальными уравнениями дробного порядка [1]. Кроме того, применение фрактальных элементов в фильтрах, генераторах, интеграторах и дифференциаторах, ПИД-регуляторах позволяет использовать α как дополнительный параметр для получения требуемых характеристик отмеченных функциональных устройств [2].

Возможные физические реализации фрактальных элементов рассмотрены в [3]. Причем, наиболее технологичными и пригодными для коммерческого использования являются фрактальные элементы на основе однородных и неоднородных резистивно-емкостных элементов с распределенными параметрами (*RC*-ЭРП) [4].

Однако в известной нам литературе недостаточно отражены характеристики и свойства цепей, содержащих фрактальные элементы. Поэтому в данной работе получены аналитические выражения для передаточных функций пассивных четырехполюсников и входные импедансы пассивных двухполюсников, содержащих комбинацию классических *R*-, *L*- и *C*-элементов и фрактальных элементов и проанализированы их частотные характеристики.

Количество вариантов таких двухполюсников и четырехполюсников достаточно велико. Поэтому рассмотрим общий подход к получению аналитических выражений и частотных характеристик, описывающих поведение четырехполюсника, на примере схемы изображенной на рис. 1. Цепь включает в себя конденсатор *C* и элемент фрактальной емкости Z_{Fc}. Используя классические законы Ома и Кирхгофа, выражение коэффициента передачи рассмат-

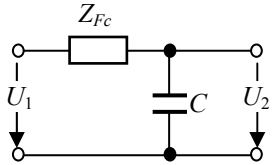


Рис. 1. Четырехполюсник, содержащий фрактальный элемент Z_{Fc}

© Бабошкин Г. Д., Данилов Е. О., Ушаков П. А., 2015

риваемой цепи получим в виде:

$$W(j\omega) = \frac{Z_c}{Z_{Fc} + Z_c}, \tag{1}$$

где $Z_{Fc} = \frac{1}{\omega^{\alpha} C_{\alpha}} e^{-j\alpha\frac{\pi}{2}}$ – импеданс фрактального элемента, α – отношение величины постоянного уровня фазового сдвига φ_c входного импеданса фрактального элемента к величине фазового сдвига элемента первого порядка, т. е. $\alpha = \frac{\varphi_c}{90°}$, C_{α} – фрактальная емкость элемента; $Zc = \frac{1}{\omega C} e^{-j\frac{\pi}{2}}$ – уравнение импеданса фрактальной емкости.

После несложных тригонометрических преобразований получены амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики цепи, соответственно как модуль передаточной функции и её аргумент в виде:

АЧХ:

$$A(\omega) = \frac{\omega^{\alpha} C_{\alpha}}{\sqrt{\omega^{2\alpha} C_{\alpha}^2 + \omega^2 C^2 + 2\omega^{(\alpha+1)} C C_{\alpha} \cos\left(\frac{(\alpha-1)\pi}{2}\right)}}, \tag{2}$$

ФЧХ:

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\omega C \sin\frac{(\alpha-1)\pi}{2}}{\omega^{\alpha} C_{\alpha} + \omega C \cos\frac{(\alpha-1)\pi}{2}}. \tag{3}$$

На основании полученных выражений на рис. 2 и 3 вычислены и построены графики АЧХ и ФЧХ в зависимости от величины α. Графики построены для значения фрактальной емкости $C\alpha = 1{,}21 \cdot 10^{-7}$ и емкости конденсатора $C = 10^{-6}$ Ф.

Из рис. 2 и 3 видно, что цепь при $0 < \alpha < 1$ является фильтром нижних частот, а при $\alpha > 1$ – фильтром верхних частот. Фазовый сдвиг равен φ_c для $\alpha < 1$ является отрицательным, для $\alpha > 1$ – положительным. Кроме того можно отметить, что при увеличении параметра α изменяется крутизна АЧХ и частота среза цепи.

Для проверки корректности полученных выражений (2) и (3) было проведено моделирование этой цепи в программе схемотехнического моделирования *OrCAD* с использованием схемотехнических моделей

фрактальных элементов, разработанных в [5]. Параметры модели обеспечивают $\alpha = 0{,}3$, $C_\alpha = 1{,}82 \cdot 10^{-7}$, диапазон постоянства фазы ФЧХ входного импеданса от 378,375 Гц до 10 КГц. Схема моделирования рассматриваемой цепи изображена на рис. 4.

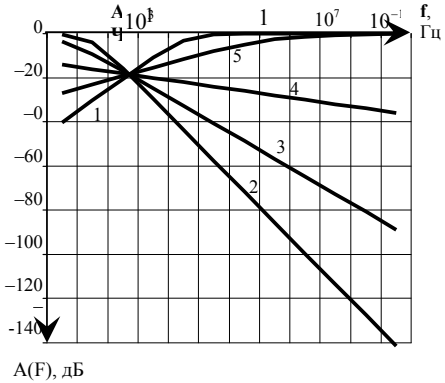


Рис. 2. График зависимости АЧХ от α: α = 0,3 (1); α = 0,6 (*2*); α = 0,9 (*3*);α = 1,2 (*4*); α = 1,5 (*5*)

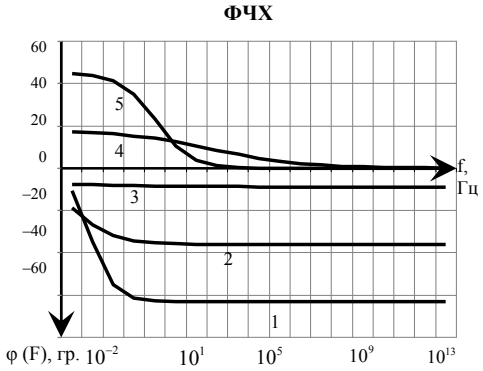


Рис. 3. График зависимости ФЧХ от α: α = 0,3 (*1*); α = 0,6 (*2*); α = 0,9 (*3*);α = 1,2 (*4*); α = 1,5 (*5*)

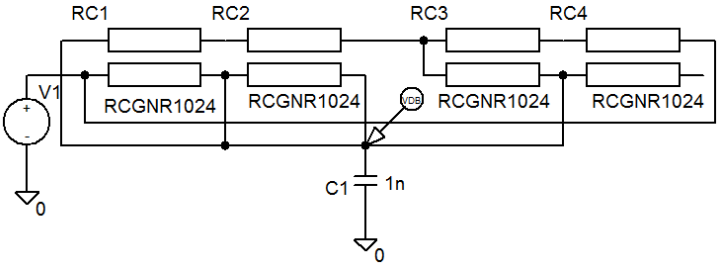


Рис. 4. Схема для моделирования цепи (рис. 1) в *OrCAD*

На рис. 5 изображены графики АЧХ и ФЧХ полученные в OrCAD, а на рис. 6 – аналогичные графики, рассчитанные по выражениям (2) и (3).

Относительные ошибки по амплитуде и фазе незначительны:

$Ea = \dfrac{\Delta A_{\text{ср}}}{A_{\text{ср}}} = \dfrac{-0,1}{-16,26} = 0,006$ – ошибка по амплитуде составляет менее 1 %.

$E\phi = \dfrac{\Delta\phi_{\text{ср}}}{\phi_{\text{ср}}} = \dfrac{-0,88}{-23,1} = 0,038$ – ошибка по фазе составляет менее 4 %.

Это говорит о том, что теоретические расчеты верны.

В работе аналогичным образом были проанализированы 14 электрических звеньев. При анализе были выявлены следующие интересные результаты: характер некоторых цепей с фрактальными элементами можно изменять, регулируя параметры фрактальных элементов и не меняя состава дискретных элементов в цепи. Таким же образом можно изменять такие параметры цепей, как частота среза, частота резонанса и добротность. Эти особенности фрактальных элементов могут быть применены в цепях приемных и передаточных устройств, требующих высокой точности в синхронизации сигналов, а также в

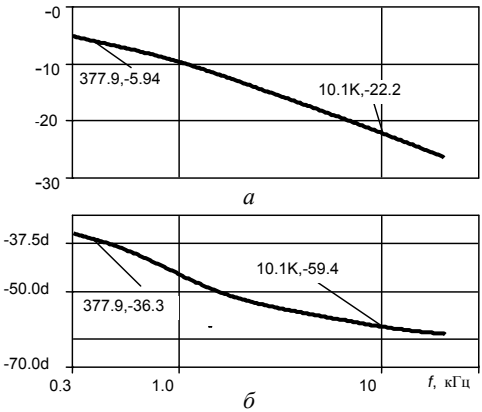


Рис. 5. Результаты моделирования коэффициента передачи цепи (рис. 4) в *OrCAD*: *а* – АЧХ в дБ; *б* – ФЧХ в градусах

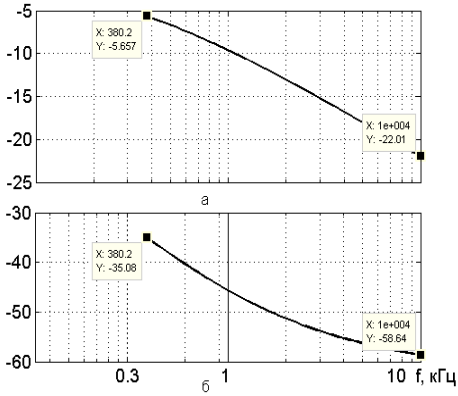


Рис. 6. Результаты расчетов графиков: *а* – АЧХ в дБ; *б* – ФЧХ в градусах

цепях модуляции и демодуляции. Это также может значительно упростить схемотехнические решения при построении цепей интеграторов и дифференциаторов.

Фрактальные элементы все еще находятся на стадии разработки. Основными задачами для их разработки являются унификация технологии их изготовления, совершенствование конструкции, которая позволила бы регулировать параметры фрактальных элементов. Решение этих задач может сделать фрактальные элементы новым звеном в системо- и схемотехнике и значительно расширит возможности многих узлов современной радиоэлектроники.

Список литературы

1. *Потапов, А. А.* Фрактальные элементы и радиосистемы: Физические аспекты. Монография / А. А. Потапов, А. Х. Гильмутдинов, П. А. Ушаков ; под. ред. А. А. Потапова. – М. : Радиотехника, 2009. – 200 с.

2. *Гильмутдинов, А. Х.* Фрактальные устройства и системы: состояние и перспективы (обзор) / А. Х. Гильмутдинов, В. А. Мокляков, П. А. Ушаков // Нигматуллинские чтения – 2013 : Междунар. науч.-техн. конф., 19–21 нояб. 2013 г. : тез. докл. – Казань : Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2013. – С. 33 – 36.

3. *Гильмутдинов, А. Х.* Физическая реализация фрактальных импедансов: состояние и перспективы (обзор) / А. Х. Гильмутдинов, П. А. Ушаков // Нигматуллинские чтения – 2013 : Междунар. науч.-техн. конф., 19–21 нояб. 2013 г. : тез. докл. – Казань : Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2013. – С. 30–33.

4. *Ушаков, П. А*. Методы анализа и синтеза многослойных неоднородных RC-элементов с распределенными параметрами и устройств на их основе : автореф. – Казань : КГТУ, 2009. – 35 с.

5. *Максимов, К. О*. Решение задачи обеспечения заданных параметров фрактальных радиоэлементов на основе резистивно-емкостной среды : автореф. дис. … канд. техн. наук. – Ижевск: ИжГТУ, 2013. – 18 с.

УДК 621.3 (045)

А. С. Вершинин, магистрант
А. В. Ворожцов, магистрант
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Анализ стандартов для построения контрольно-измерительных систем

Для построения контрольно-измерительных систем чаще всего используются следующие стандарты: VXI, PXI, LXI (таблица) [1–3].

Таблица характеристик стандартов VXI, PXI, LXI

Параметр/характеристика	Стандарт VXI	Стандарт PXI	Стандарт LXI
Поддержка и развитие	Международный консорциум с 1987 г.	Международный консорциум с 1995 г.	Международный консорциум с 2004 г.
Возможности размещения	В крейтах и стойках	Внутри приборов, ПЭВМ	Неограничены
Питание модуля	По шине	По шине	Стандартная сеть
Охлаждение модуля	В крейте	Внутри корпуса устройства установки, возможно собственное охлаждение	Внутри модуля (прибора)
Шина передачи данных	Собственная стандартизованная	Стандартная дополненная (PCI)	Стандартная (Ethernet)
Гибкость	Высокая	Средняя	Высокая
Возможность интеграции в другие системы	Низкая	Средняя	Высокая
Возможность независимого использования модулей	Нет	Нет	Есть
Управляемость	Высокая	Высокая	Высокая
Уровень отработки драйверов	Низкий	Высокий	Высокий

© Вершинин А. С., Ворожцов А. В., 2015

Окончание табицы

Параметр/характеристика	Стандарт VXI	Стандарт PXI	Стандарт LXI
Потребность в специальных средствах разработки ПО	Необходимы специальные средства	Только стандартные (широко применяемые) средства	Только стандартные (широко применяемые) средства
Точность	Высокая	Высокая	Высокая
Помехозащищенность	Высокая	Низкая	Высокая
Электромагнитная совместимость	Высокая	Средняя	Высокая
Быстродействие	Среднее	Высокое	Высокое
Возможность построения системы реального времени	Есть	Нет	Есть
Возможности модернизации	Высокие	Высокие	Высокие
Ассортимент готовых модулей	Широкий	Широкий	Широкий
Возможность дистанционной программной отработки	Нет	Нет	Есть
Показатели надежности	Высокие	Средние	Высокие
Наличие отечественных производителей	Есть (информ-тест-монопольный производитель!)	Есть (широкий круг производителей)	Есть (ограниченный круг производителей)
Возможность самостоятельной разработки	Затруднена	Имеется	Имеется

VXI – расширение стандарта VME – использует магистрально модульный интерфейс организации шины. Предназначен для построения сложных высокоточных контрольно-измерительных систем. Обладает повышенной помехозащищенностью и высокой электромагнитной совместимостью. Развивается с 1987 г. Широко используется ВВС США в бортовых системах. Построение систем в стандарте VXI предусматривает размещение одноплатных измерительных систем различных типоразмеров (A, B, C, D) в крейтах. В крейтах решены вопросы электропитания, охлаждения и обмена информацией (цифровой и аналоговой). В одном крейте можно разместить до 20 плат. Связь между крейтами осуществляется посредством стандартных интерфейсов и протоколов обмена. Стандарт VXI применим для построения систем реального времени. Наработан широкий спектр типовых плат.

PXI – расширение стандарта PCI для промышленного применения. Используется для расширения существующих и построения новых кон-

трольно- измерительных систем, построенных на основе IBM PC. Развивается с 1995 г. Стандарт является промышленным продолжением широкого коммерческого использования шины PCI в офисных применениях и в основном предназначен для построения несложных сегментированных систем. Неустойчив к воздействию помех (вследствие внутренней синхронизации шины в 2 не), низкая электромагнитная совместимость. Число плат, размещаемых на одной шине, 4–6; стандарт допускает использование расширяющих крейтов на 3–6 плат. Системы, построенные на основе стандарта PXI, отличают компактность и управляемость. В стандарте решены вопросы совместимости, хорошо проработано программное обеспечение, драйвера. Наработан широкий спектр типовых плат.

LXI – расширение стандартов LAN для промышленного применения. Используется для построения платформонезависимых гибких (изменяемых) сложных контрольно-измерительных систем. Развивается с 2004 г. Стандарт является промышленным продолжением широкого использования стандартов LAN в системах сбора и обработки данных. Системы, построенные в стандарте LXI, отличает приборно-модульный принцип построения. В каждом устройстве решены вопросы питания, охлаждения, электромагнитной совместимости и помехозащищенности. Приборы выпускаются в основном в стандарте евромеханика на ширину или половину ширины стойки 19" В стандарте отсутствуют требования к территориальному расположению систем (решено в стандартах LAN), решены вопросы синхронизации устройств. Стандарт допускает использование в системах, близких к системам реального времени (незначительная задержка сигнала в кабеле – 3 нс/м). Преимуществом стандарта является легкость интеграции систем и ее составных частей в существующие КПА-системы, системы сбора и обработки данных, другие системы.

В ходе анализа (из всего перечисленного выше) аппаратура стандарта LXI обладает следующими достоинствами:

1) Отсутствует необходимость применения специальных крейтов для организации питания, охлаждения, шины обмена. Внутреннее питание и охлаждение обеспечивается устройством. Внешнее питание стандартная электрическая сеть – 220 В, 50 Гц;

2) Легкость размещения LXI-устройств как на обычных лабораторных столах, так и в стандартных стойках 19" без необходимости разработки специальных креплений (крепления поставляются с устройством опция);

3) В качестве шины обмена используются стандартные интерфейсы Ethernet, GPIB, USB, ..., что позволяет подключать устройства к управ-

ляющему компьютеру как напрямую, так и через стандартные сетевые коммутаторы. Требование к территориальному расположению управляющего компьютера относительно LXI-устройств отсутствует;

4) Большинство LXI-устройств предусматривает возможность дооснащения и замены функциональных модулей;

5) Современные LXI-устройства обладают расширенным набором функций, благодаря чему появляется возможность, с одной стороны, исключить часть функциональных устройств из состава КПА, с другой – обеспечить контроль параметров работы БЦВК на качественно другом уровне. Например, большинство требуемых функций автоматического контроля изначально присутствует в LXI-устройствах;

6) Программное обеспечение и драйверы LXI-устройств отработаны многолетним серийным производством и эксплуатацией устройств во всем мире;

7) Программное обеспечение LXI-устройств ориентировано на веб-интерфейс и, таким образом, появляется возможность удаленного управления и мониторинга LXI-устройства без использования специальных средств (достаточно любого веб-браузера). При этом упрощается построение системного ПО;

8) Имеется технологическая независимость (выбор) как производителей, так и поставщиков оборудования, а также возможность срочной поставки.

Список литературы

1. LXI Standard LAN eXtensions for Instrumentation (LXI). – URL: http://lxi.ru/about-standart (дата обращения: 25.10.2014).

2. VXI Standard VMEbus eXtention for Instrumentation – (VXI). – URL: http://www.vxi.su/ (дата обращения: 25.10.2014).

3. PXI Standard Pci eXtention f or Instrumentation (PXI). – URL: http://www.pxi.su/ (дата обращения: 25.10.2014).

УДК 621.316.9

Е. Ю. Дугаева, магистрант
В. А. Морозов, канд. тех. наук, доцент
E-mail: dugaeva93@yandex.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование возможности повышения быстродействия и чувствительности токовых защит распределительных сетей

Реле – называется электрическое устройство, которое предназначается для осуществления коммутации различных участков электрических схем при изменении электрических или неэлектрических входных воздействий [1–3].

Принимающая 1 – входная часть измерительного органа (рис. 1), принимающая сигналы, которые поступают от измерительных трансформаторов тока и трансформаторов напряжения и преобразует эти величины, пригодные для использования в данной конструкции реле;

Формирующая 2 – элемент, преобразующий в сравниваемые величины сигналы, которые получает от принимающей части;

Сравнивающий элемент 3 – сравнивает сформированные величины по заданному значению или между собой и в результате дает сигнал о действии или несрабатывании реле;

Исполняющая 4 – усиливает поступающий сигнал и действует на управляемую цепь.

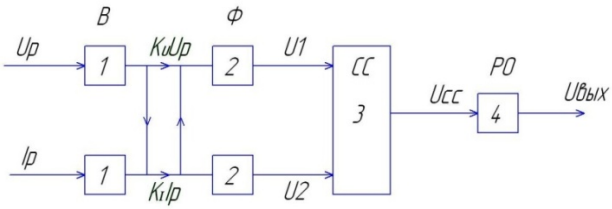


Рис. 1. Структурная схема реле

У реле с выдержкой времени есть еще одна функциональная часть, которая осуществляет замедление срабатывания реле.

© Дугаева Е. Ю., Морозов В. А., 2015

Электромагнитное реле

Достоинства:

– проявление устойчивости к импульсам перенапряжения и способным оказать разрушительное воздействие помехам;

– в сравнении с полупроводниковыми ключами электромагнитные реле имеют более низкую стоимость.

Недостатки:

– невысокая скорость работы;

– ограниченность электрического и механического ресурса;

– возникновение радиопомех во время замыкания и размыкания контактов;

Полупроводниковые реле

Достоинства:

– отсутствие электромагнитных помех при включении цепи;

– высокий уровень быстродействия;

– гарантированность срабатываний на протяжении большого промежутка времени;

– экономность электропотребления.

Недостатки:

– большая, по сравнению с пускателями, выделяемая мощность, что вынуждает использовать радиаторы, ухудшающие габаритные показатели устройств (только для мощных реле).

Микропроцессорные реле:

– в релейную защиту не внесены какие-либо новые функции, но объединены функции отдельных реле, а также добавлены функции, выполняющиеся приборами регистрации событий;

– не обеспечивают высокий уровень надежности и не упрощают работу персонала по обслуживанию.

Многоступенчатая токовая защита

Трехступенчатые токовые защиты получили большее применение (рис. 2). В роли первой ступени выступают токовые отсечки мгновенного действия (селективные токовые отсечки). В роли второй – токовые отсечки, имеющие выдержку времени срабатывания (неселективные токовые отсечки). В роли третьей ступени – МТЗ.

Самой простейшей защитой считаются токовые отсечки мгновенного действия.

Недостатки мгновенных отсечек: неполный охват зоны действия линии, а также изменение зоны действия в зависимости сопротивления в месте повреждения.

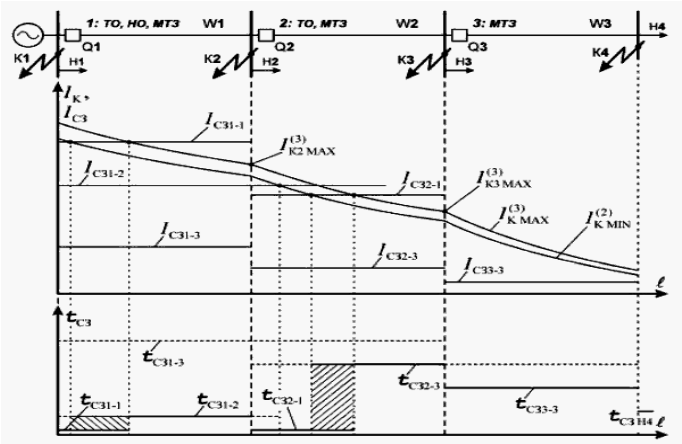


Рис. 2. Схема сети с трехступенчатыми токовыми защитами и соответствующие диаграммы токов КЗ и времени срабатывания

Отсечка с выдержкой времени обеспечивает достаточно быстрое ($t_з \approx 0{,}5$ с) отключение повреждений на защищаемой линии.

Максимальная токовая защита является простой, надежной защитой, имеет небольшую стоимость.

Недостатки максимальной токовой защиты:

1) большая выдержка времени, в частности рядом с источниками питания.

2) при коротких замыканиях недостаточная чувствительность в разветвленных сетях с немалым числом параллельных цепей и большими токами нагрузки.

Способы повышения быстродействия и чувствительности токовых защит в распределительных сетях

Алгоритм ступенчатых токовых защит распределительных сетей с зависимой времятоковой характеристикой срабатывания, дающее возможность повысить их быстродействие.

Состав ступенчатой токовой защиты:

– первая ступень – токовая отсечка (ТО);

– вторая ступень – максимальная токовая защита (МТЗ) с зависимой времятоковой характеристикой срабатывания, где время срабатывания защиты имеет зависимость, обратную от тока короткого замыкания (рис. 3).

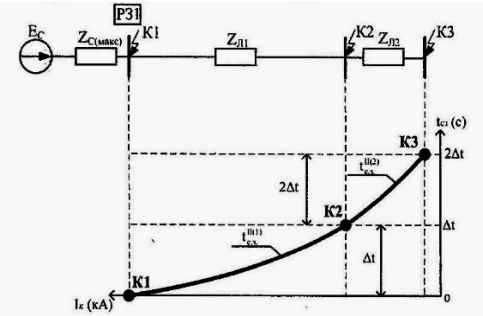


Рис. 3. Времятоковые характеристики предлагаемой ступенчатой токовой защиты

Главные задачи второй ступени защиты с зависимой характеристикой срабатывания:

– всецело защищать линию Л1 от коротких замыканий;

– всецело защитить линию Л2 от коротких замыканий, выполнение условия дальнего резервирования;

– обеспечение защит линий Л1 и Л2 с наименее возможным временем срабатывания (увеличить быстродействие);

– обеспечение селективной работы защит, которые установлены на линиях Л1, Л2 и последующих линий и объектов.

В ходе исследования времятоковых характеристик были найдены моменты, которые влияют на быстродействие защиты:

– при появлении 2-фазных коротких замыканий;

– при появлении коротких замыканий через переходное сопротивление (дугу);

– погрешность измерительных трансформаторов тока.

Хорошее решение проблемы – разбиение второй части характеристики на участки (рис. 4):

– первый участок характеристики – объекты системы, имеющие наименьшее сопротивление;

– второй участок характеристики – объекты системы, имеющие среднее сопротивление;

– третий участок характеристики – объекты системы, имеющие наибольшее сопротивление.

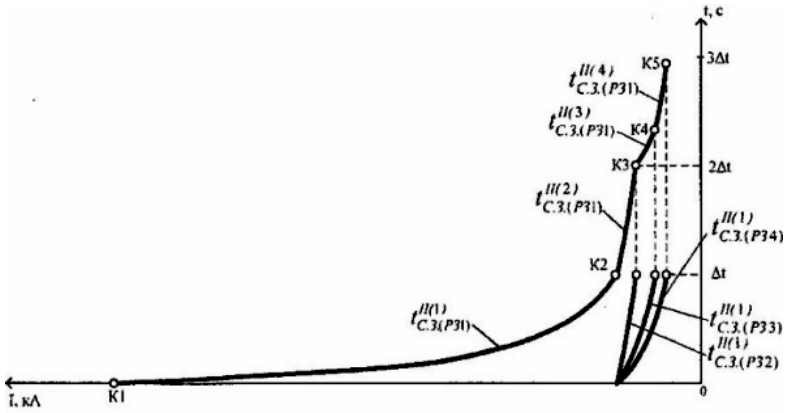


Рис. 4. Времятоковые характеристики времени срабатывания вторых ступеней защит при разделении на участки

Разработка такой ступенчатой токовой защиты с зависимой времятоковой характеристикой срабатывания для систем электроснабжения предприятий, где время срабатывания обратнозависимое от тока короткого замыкания, допускает согласование последовательно установленных компонентов с наименьшим накоплением выдержки времени (увеличивается быстродействие), а также обеспечивается ближнее и дальнее резервирование, нужная чувствительность и селективная работа всех защит (своего элемента системы, защит предыдущих элементов). Таким образом, с повышением быстродействия токовых защит, по условию термической стойкости, позволяет уменьшить сечение кабельных линий, а, значит, и снизить затраты на кабельные линии между электрооборудованием и устранить опасное влияние токов короткого замыкания на оборудование.

Список литературы

1. *Чернобровов, Н. В.* Релейная защита энергетических систем / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. – М. : Энергоатомиздат, 2007.

2. *Шабад, М. А.* Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей : моногр. – СПб., 2003.

3. *Исаков, Р. Г.* Токовые защиты распределительных сетей с повышением быстродействием и чувствительностью : автореф. дис. … канд. техн. наук. – Казань, 2012.

УДК 621.317

А. В. Игнатьев, магистрант
E-mail: igallex@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Анализ систем технического учета электрической энергии

В настоящее время на всех этапах производства возникает необходимость оптимизации затрат электроэнергии, увеличение достоверности данных использования энергоресурсов на отдельных участках. Для выполнения этих задач необходима модернизация автоматических систем технического учёта электроэнергии (АСТУЭ) с учётом современных требований [Вагин Г. Я. Экономия энергии в промышленности / Г. Я. Вагин, А. Б. Лоскутов. Н. Новгород : НГТУ, 1998. 231 с.].

Технический учёт электроэнергии

Результатом использования АСТУЭ является:

– увеличение достоверности данных использования энергоресурсов на отдельных участках и присоединении во время всего технологического процесса,

– постоянное наблюдение за величиной активной и реактивной мощности на отдельных участках и присоединениях,

– выявление оптимальных режимов работы оборудования.

Формирование архивов статистических данных и оперативный анализ позволяют вести точное планирование энергопотребления. Всё это приводит к экономии электрической энергии. Но существующие схемы учёта электрической энергии имеют ряд недостатков, которых лишены их более современные аналоги.

Традиционная схема технического учёта электроэнергии

Рассмотрим традиционную АСТУЭ, построенную на основе индукционных счётчиков. Схема построена на следующих элементах.

Индукционные стационарные счётчики, в которые встроены измерительные преобразователи, предназначенные для измерительного преобразования числа оборотов диска трехфазного счетчика электрической энергии в количество импульсов. Для защиты линий передачи данных используем устройства для защиты от импульсных перенапряжений и помех линий систем измерения.

© Игнатьев А. В., 2015

Следующий элемент: сумматор-прибор осуществляет преобразование входных сигналов в цифровую форму и вычисляет суммарные характеристики. С автоматизированным рабочим местом сумматор соединяется через адаптер, он позволяет подключить сумматор к компьютеру через интерфейс RS485. Последний элемент схемы, автоматизированное рабочее место: персональный компьютер.

Данная схема построена на индукционных счётчиках, из этого и вытекают недостатки схемы: низкий класс точности индукционных счётчиков, их большое собственное потребление тока по цепям напряжения и токовым цепям, наличие подвижных деталей в счётчиках, слабая защита от хищения электроэнергии, низкая надёжность сумматоров. Для использования индукционных счётчиков в АСТУЭ приходится использовать счётчик импульсов, который также не обладает высокой точностью и может пропускать импульсы, тем самым снижая достоверность получаемых данных. Следующий недостаток АСТУЭ, построенной на индукционных счётчиках, каждый счётчик соединяется с устройством сбора и передачи данных двумя проводами, при большом количестве счётчиков это значительно усложняет ремонт и эксплуатацию данной системы в связи со сложностью обнаружения места повреждения. Стоит отметить, что данную схему сложно модернизировать. К ней можно отнести относительную экономичность реализации данного решения.

Модернизированная схема технического учёта электроэнергии

Рассмотрим одну из возможных схем построения АСТУЭ, построенную на микропроцессорных счётчиках (рис. 2). Она состоит из стационарных счётчиков с интерфейсом RS-485. Передача данных происходит по стандарту связи RS-485, который, в свою очередь, при помощи конвертора преобразуется в сигнал линии *Ethernet*, далее данные поступают для обработки на сервер опроса и баз данных и автоматизированные рабочие места. В этой схеме, кроме счётчиков на низшей стороне напряжения, установлены счётчики электрической энергии на подстанции с высшей стороны. Установка этих счётчиков позволяет определить потери в кабельных линиях и трансформаторах. Передача данных в этом случае в одном из вариантов осуществляется по оптоволоконной линии в связи с большой протяжённостью линии.

Данная схема технического учёта построена с использованием современных комплектующих на основе микропроцессорных счётчиков, передача данных осуществляется на основе интерфейса RS 485 и оптоволоконной линии (ВОЛС). В рассмотренной системе технического учёта ВОЛС связывает счётчики, установленные на подстанции с сервером опроса и баз данных. Достоинства оптоволокна: широкая полоса про-

пускания, высокая помехозащищенность, низкие потери данных, малый вес и объем, отсутствует необходимость установки модуля грозозащиты. Применяемые микропроцессорные счётчики лишены недостатков индукционных счётчиков и обладают следующими достоинствами: гибкость и многофункциональность, защищённость от постороннего вмешательства, многотарифность, высокий класс точности, длительный период между проверками и в отличие от индукционных, малые габариты. Кроме того, компактное и удобное размещение линий связи облегчает ремонт и эксплуатацию. Вторая схема даёт простор для модернизации и расширения схемы технического учёта предприятия.

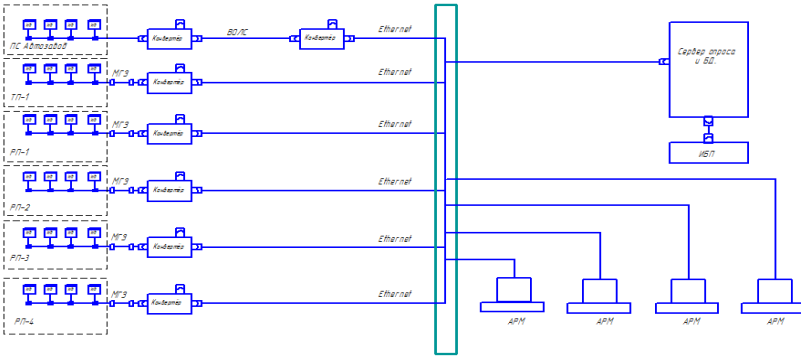


Рис. 2. Структурная схема АСТУЭ после модернизации

Таким образом, использование современной АСТУЭ, в конечном счёте, обеспечивает контроль расхода электроэнергии на всех этапах технологического процесса каждого участка производства, что снижает долю электроэнергии в себестоимости продукции.

УДК 621.313.33

А. Д. Костромин,[1] магистрант
В. А. Стародубцева,[2] канд. техн. наук, профессор
E-mail: [1]slipten93@gmail.ru, [2]starodubceva_v_a@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Анализ модификаций асинхронных двигателей, питающихся через преобразователи частоты

Современная тенденция характеризуется определенным ростом доли асинхронного двигателя в регулируемом приводе. И это неудивительно, ведь буквально за последние 20 лет регулируемый асинхронный электропривод практически полностью заменил привод постоянного тока во многих областях. Основную роль здесь играют достижения в области микропроцессорной техники и силовой электроники, которые позволили создать преобразователи частоты питающего напряжения, обеспечивающие управление асинхронными двигателями с показателями, в равной степени сопоставимыми или превышающими характеристики других типов привода.

Частотно-регулируемый асинхронный двигатель, работающий с преобразователем частоты, является основой частотно-регулируемого привода [1]. На сегодняшний день появилось множество модификаций частотно-регулируемых асинхронных двигателей, которые имеют различные конструктивные особенности. Это и отличает их от асинхронных двигателей стандартного исполнения. При этом изменяются обмотки ротора, статора, магнитопроводы, подшипниковые узлы и пр. [2].

Почему же появилась потребность в создании различных модификаций асинхронного двигателя?

На рис. 1 изображен асинхронный двигатель базового исполнения, в котором отсутствует независимая вентиляция. Данный тип двигателя имеет лишь самовентиляцию (вентилятор охлаждения на валу). При такой схеме охлаждения асинхронного электродвигателя возникают ограничения в его регулировке, т. е. двигатель может регулироваться в узких диапазонах изменения скорости вращения. На пониженных оборотах производительность вентиляции теряется, происходит перегрев двигателя. На повышенных оборотах возникает резкое (в квадратичной зависимости) возрастание нагрузки на вал асинхронного электродвигателя от собственного вентилятора.

© Костромин А. Д., Стародубцева В. А., 2015

Из-за таких ограничений по применению появилась потребность в изменении конструктива двигателя базовой модификации.

На рис. 2. изображен асинхронный электродвигатель с независимой вентиляцией. Благодаря появлению в данном двигателе независимой вентиляции на валу диапазон регулирования скорости удалось расширить и избежать перегрева. Применяется в составе частотно-регулируемых приводов при длительной работе в большом диапазоне рабочих скоростей. Изготавливается в разных габаритных размерах асинхронных электродвигателей. Применяется в центрифугах, автоматических линиях, конвейерных системах и т. д.

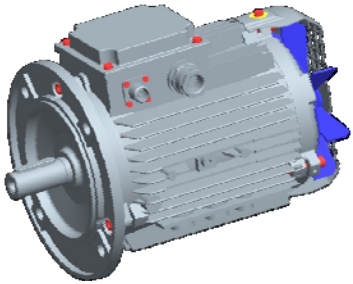


Рис. 1. Асинхронный двигатель базового исполнения с самовентиляцией

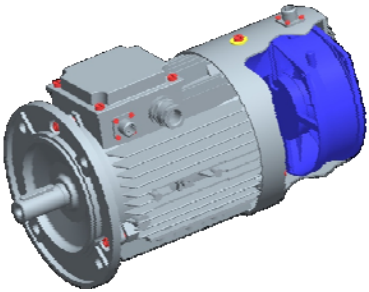


Рис. 2. Асинхронный электродвигатель с независимой вентиляцией

Следующий вид двигателя (рис. 3) имеет в себе электромагнитный тормоз. Данный тип двигателя необходим для обеспечения возможности

удержания вала в момент отключения силового питания двигателя, а также в системах, требующих повышенной безопасности.

Следующая модификация (рис. 4) включает в себя, помимо независимой вентиляции, датчик скорости/положения. Он используется для обеспечения ещё большей глубины регулирования по скорости, точного контроля за скоростью вращения, управления моментом в любом диапазоне скоростей. Применяется в станках с ЧПУ, грузоподъемных механизмах, точном машиностроении, конвейерных системах, автоматических линиях и т. д.

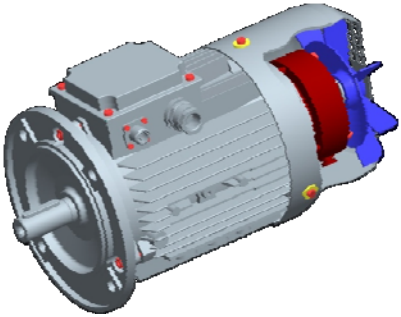


Рис. 3. Асинхронный электродвигатель с электромагнитным тормозом

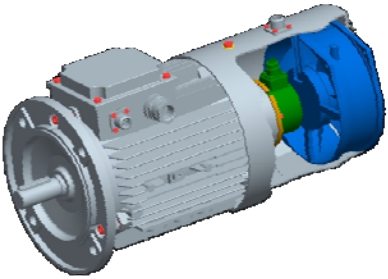


Рис. 4. Асинхронный электродвигатель с датчиком скорости/положения и независимой вентиляцией

Последняя модификация асинхронного двигателя (рис. 5) содержит все элементы предыдущих модификаций: независимую вентиляцию, электромагнитный тормоз, датчик скорости/положения. Тем самым обеспечивается точный контроль за скоростью вращения, большая глу-

бина регулирования скорости и возможность удержания вала двигателя при отключении питания.

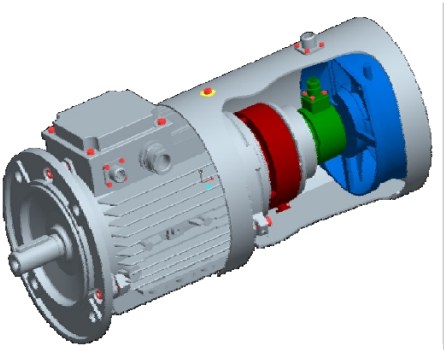


Рис. 5. Асинхронный электродвигатель с электромагнитным тормозом, датчиком скорости/положения и независимой вентиляцией.

Подводя итоги можно отметить, что изменения в конструкции асинхронных электродвигателей позволили обеспечить работу этих машин в более ответственных системах частотно-регулируемых приводов. Более того, такие двигатели имеют ряд преимуществ: срок службы оборудования увеличивается, повышается энергоэффективность двигателя, уменьшаются нагрузки на двигатель, снижение нагрузки на сеть, более простое интегрирование в системы автоматического управления, наблюдается значительное снижение пусковых токов, большие возможности регулирования в технологическом процессе.

Список литературы

1. *Чиликин, М. Г.* Общий курс электропривода : учеб. для вузов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Энергия, 1971.

2. *Радин, В. И.* Электрические машины: Асинхронные машины : учеб. пособие для вузов по спец. «Электромеханика» / В. И. Радин, Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович ; под ред. И. П. Копылова. – М. : Высш. шк., 1988.

УДК 62-83(045)

С. А. Кричкер[1], магистрант
В. А. Морозов, канд. техн. наук, доцент
E-mail: [1]osenexo@ya.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование динамических характеристик управляемого электромагнитного привода

На кафедре «Электротехника» создан стенд для исследования динамических характеристик управляемого электромагнитного привода, на котором исследуются динамические характеристики управляемого электромагнитного привода в процессе коммутации силовой цепи вакуумным контактором. При эксплуатации электроэнергетических систем часто возникает необходимость отключения или подключения потребителей электроэнергии. Коммутация какого-либо элемента сети вызывает переходный процесс, обусловленный совокупностью индуктивностей и емкостей электротехнического оборудования. Коммутационный процесс сопровождается изменением тока и напряжения в элементах электрической сети. Как правило, переходный процесс имеет вид затухающих колебаний, в процессе которого напряжение на емкостях оборудования относительно земли или между фазами трехфазной сети может достигать величин, превышающих номинальные и оказывающих негативные воздействия на коммутационный аппарат и систему в целом. Переходный процесс характеризует динамические свойства системы и ее поведение. Основные динамические характеристики управляемого электромагнитного привода представляют собой зависимости изменения величины тока и напряжения от времени [1].

Структурная схема стенда для исследования динамических характеристик управляемого электромагнитного привода представлена на рис. 1 и включает коммутационный модуль ISM15_LD_1, блок управления БУ/TEL-100/220-12-03A [2], АЦП, ЭВМ, схему подключения АЦП к измерительной цепи, автоматический выключатель питающей цепи [3], блок вспомогательных эквивалентных сопротивлений, трансформатор тока, элементы сигнализации и индикации.

Электрическая принципиальная схема измерительной цепи стенда представлена на рис. 2. Она содержит схему с АЦП и трансформатор тока ТА, последовательно подключенный к выводам от блока управления к цепи катушки электромагнита коммутационного модуля. Схема с

© Кричкер С. А., Морозов В. А., 2015

АЦП состоит из шунтирующего резистора $R_ш$ = 36 Ом, двух встречно-последовательно включенных стабилитронов (VD1-2) на напряжение стабилизации 10 В и ток стабилизации 0,005 А, ограничивающего сопротивления R = 2 кОм, АЦП марки USB-6009. АЦП при помощи USB-кабеля подключается к персональному компьютеру. Динамическая характеристика получается после обработки сигналов с выхода АЦП в программе *LabVIEW*. Блок-схема программы для снятия динамической характеристики представлена на рис. 3.

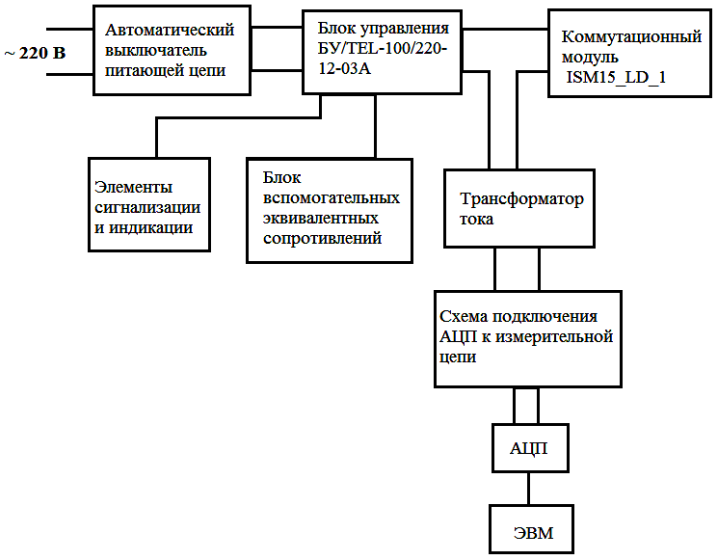


Рис. 1. Структурная схема стенда

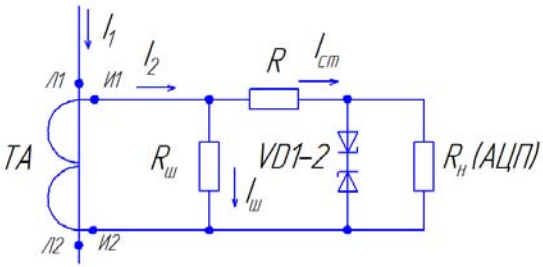


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема измерительной цепи стенда

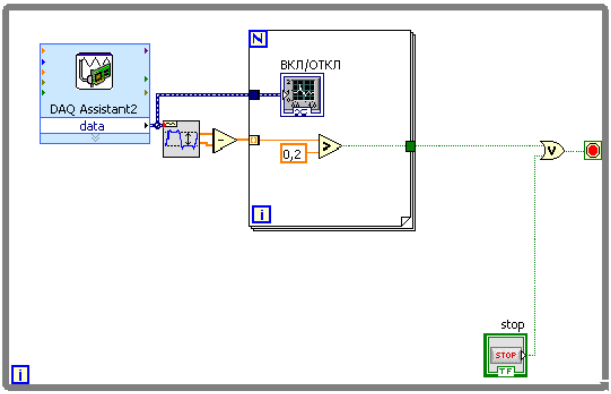


Рис. 3. Блок-схема программы для снятия динамической характеристики

Теоретическая динамическая характеристика вакуумного выключателя представлена на рис. 4. Лабораторный стенд позволяет получить в программе *LabVIEW* реальную динамическую характеристику электромагнитного привода вакуумного выключателя, которая представлена на рис. 5 и 6.

Рис. 4. Теоретическая динамическая характеристика электромагнитного привода вакуумного выключателя

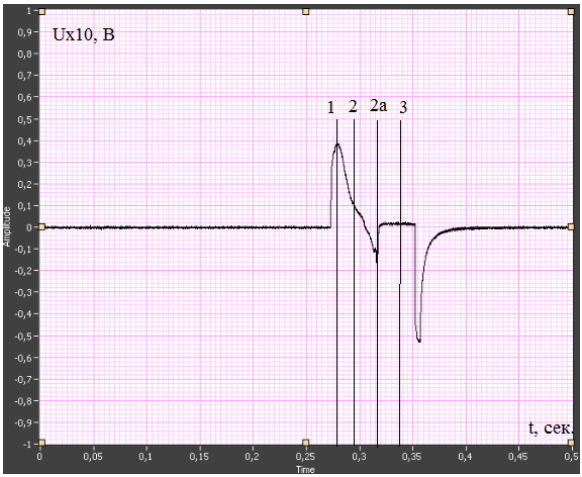


Рис. 5. Экспериментальная динамическая характеристика электромагнитного привода вакуумного выключателя (Включение)

Рис. 6. Экспериментальная динамическая характеристика электромагнитного привода вакуумного выключателя (Отключение).

На динамической характеристике можно выделить несколько характерных участков: *1* – начало движения якоря привода при включении; *2* – замыкание контактов; *2а* – остановка якоря после включения; *3* – намагничивание якоря и статора до насыщения; *4* – подача команды на

отключение выключателя; *4а* – начало движения якоря привода при отключении; *5* – остановка якоря после выключения.

В ходе проектирования теоретические данные совпали с экспериментально полученными с высокой степенью достоверности.

Список литературы

1. Таврида Электрик. Физические основы коммутации в вакууме. – М. : Россия, 1999.
2. ТШАГ 468332.034 РЭ. Блок управления БУ/TEL 12А для коммутационных модулей серии ISM. Руководство по эксплуатации. – Изменение 4. – Таврида Электрик.
3. ТШАГ.674152.003 РЭ. Вакуумный выключатель ВВ/TEL-10. Руководство по эксплуатации. – Изменение 8. – Таврида Электрик, 2015.

УДК 621.317.7

В. А. Куликов, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная технгика»
К. А. Никитин, ст. преподаватель
М. А. Рогожников, магистрант
E-mail: rogozhnikov.max@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Источник теплового потока для градуировки и поверки датчиков плотности теплового потока погружаемого типа

Конструкция датчика плотности теплового потока на основе многозонного термопреобразователя сопротивления разработана на кафедре «Вычислительная техника» ФГБОУ ВПО ИжГТУ имени М. Т. Калашникова [1]. Датчик является многофункциональным и может использоваться для измерения плотности теплового потока, теплопроводности, термического сопротивления и температуры в сыпучих и вязких средах, в том числе в биологических тканях, например, при проведении судебно-медицинских экспертиз [2, 3]. Особенность датчика – его игольчатая цилиндрическая конструкция, позволяющая вводить его в среду на заданную глубину и проводить измерения в локальных ее зонах.

Для градуировки и поверки датчика необходимо создание специализированного оборудования – регулируемого лабораторного источника теплового потока (ЛИТП).

© Куликов В. А., Никитин К. А., Рогожников М. А., 2015

Исходя из назначения и конструктивных особенностей датчика, определены следующие основные требования к ЛИПТ:

– рабочая зона – измерительная тепловая ячейка – должна иметь форму цилиндра с размерами:

диаметр, мм, не менее……..100

длина, мм, не менее……..140

– диапазон плотности теплового потока, Вт/м^2……..…0,1–100

– диапазон температуры в измерительной ячейке, °С.....+25–50

– измерительная ячейка должна содержать вещество, по теплофизическим параметрам соответствующее исследуемым средам.

Предложена конструкция теплометрического блока и схема управления ЛИТП (рис. 1).

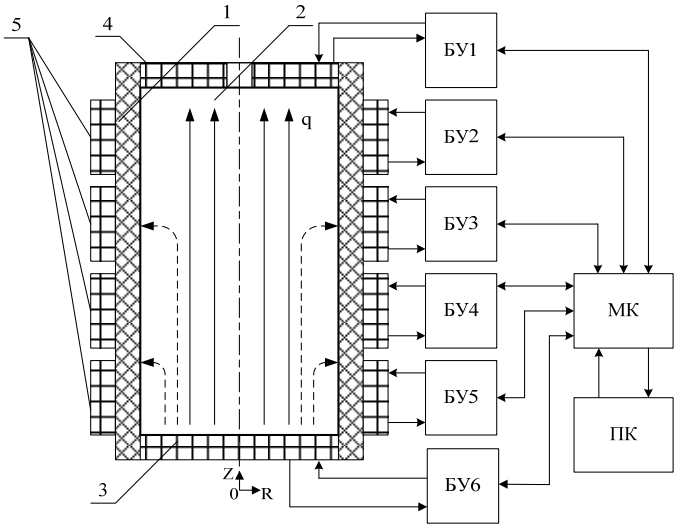


Рис. 1. Структурная схема ЛИТП: *1* – сосуд из теплоизоляционного материала; *2* – песок; *3*, *4*, *5* – стабилизаторы температуры; БУ1–БУ6 – блоки управления; МК – микроконтроллер; ПК – персональный компьютер

Теплометрический блок содержит полый цилиндр *1*, выполненный из теплоизоляционного материала, в котором внутренний объем *2* представляет собой тепловую измерительную ячейку, заполненную промытым сухим речным песком. Для создания теплового потока в измерительной ячейке в осевом направлении снизу-вверх к торцевым ее поверхностям примыкают нагревательные элементы стабилизаторов температуры *3* и *4*. Соответствующие им значения температуры Т1 и Т2

задаются в блоках управления стабилизаторами БУ1 и БУ6. Плотность теплового потока определяется в соответствии с законом Фурье по формуле

$$q = \lambda(T_1 - T_2), \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности наполнителя измерительной ячейки.

Для уменьшения влияния колебаний температуры окружающей среды и предотвращения оттока тепла через боковую цилиндрическую поверхность измерительной ячейки на внутренней поверхности теплоизолирующего цилиндра *1* должна поддерживаться температура, изменяющаяся по линейному закону от T_1 до T_2.

Реализация линейного закона изменения температуры на поверхности является сложной технической задачей, поэтому было принято решение об использовании дискретных стабилизаторов температуры *5*, выполненных в виде плоских колец и размещенных на внешней поверхности теплоизолирующего цилиндра. За счет теплоизоляционных свойств цилиндра *1* в этом случае будет обеспечиваться выравнивание скачков температуры на его внутренней поверхности, примыкающей к тепловой измерительной ячейке 2.

На основе метода электротепловой аналогии [4, 5] были разработаны электротепловые модели теплометрического блока с разным количеством боковых стабилизаторов температуры. В процессе моделирования установлено, что при использовании четырех дискретных боковых стабилизаторов достигается приемлемое значение неравномерности плотности теплового потока в объеме измерительной ячейки на уровне, не превышающем 1,5 % (рис. 2).

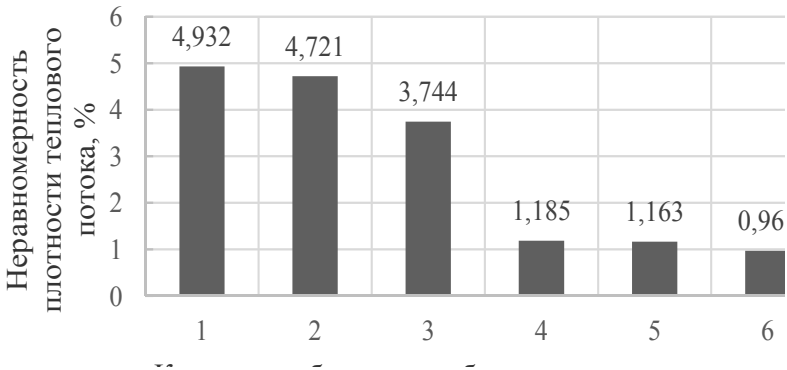


Рис. 2. Зависимость неравномерности плотности теплового потока в измерительной ячейке от количества боковых стабилизаторов температуры

В целом ЛИТП содержит шесть стабилизаторов температуры, из которых два являются независимыми и поддерживают температуры T_1, T_2 на торцевых поверхностях измерительной ячейки, другие являются зависимыми от T_1, T_2 и поддерживают температуры на боковой цилиндрической поверхности измерительной ячейки.

В схеме также имеются шесть блоков управления стабилизаторами температуры БУ1–БУ6.

Для обеспечения высокой точности стабилизации температуры стабилизаторы выполнены в виде термопреобразователей сопротивления, в которых чувствительный элемент – катушка медного провода – одновременно является датчиком температуры и нагревателем (ДН). В этом случае время транспортной задержки при регулировании температуры оказывается равным нулю, что упрощает проектирование всей системы регулирования температуры и обеспечивает высокую точность ее поддержания.

На рис. 3 представлена структурная схема одного канала регулирования температуры.

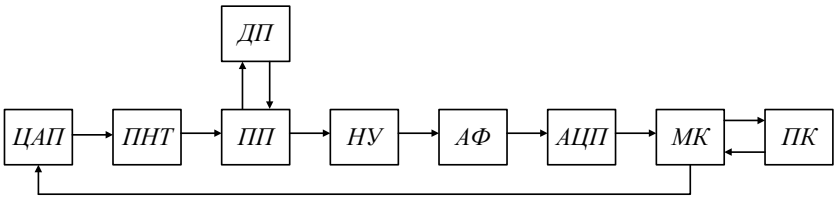


Рис. 3. Структурная схема канала регулирования температуры: ДН – датчик-нагреватель; ПП – промежуточный преобразователь; ПНТ – преобразователь напряжение-ток; НУ – нормирующий усилитель; АФ – аналоговый фильтр; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер; ПК – персональный компьютер; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь

Для преобразования сопротивления ДН в эквивалентное ему значение напряжения используется промежуточный преобразователь (ПП). Главное требование к ПП — обеспечение линейной зависимости выходного напряжения от сопротивления ДН.

Для обеспечения широкого диапазона токов нагрева ДН используется преобразователь напряжение-ток (ПНТ), со стабилизированным значением выходного тока. Значением тока управляет ЦАП.

Ввиду того, что к прибору предъявляются высокие требования по разрешающей способности и помехоустойчивости, в схему введены нормирующий усилитель (НУ) и аналоговый фильтр (АФ). НУ усилива-

ет сигнал с выхода ПП и обеспечивает аддитивную коррекцию характеристики ДН.

Поскольку требуется выводить информацию с ДН в цифровой форме, то необходимо применять цифровую обработку измерительной информации. Для этого в состав измерительного канала включен аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Алгоритмы пропорционально-интегрального (ПИ) или пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулирования температуры реализованы на персональном компьютере (ПК), связь БУ с которым осуществляется по интерфейсу USB с помощью 8-разрядного микроконтроллера (МК) с RISC-архитектурой.

На ПК осуществляется отображение температуры с ДН, задание уставки температур T_1, T_2, обработка результатов измерений и формирование управляющих сигналов. Информация с ПК поступает на МК, который управляет работой ЦАП и формирует управляющее напряжение ПНТ.

Список литературы

1. Заявка 129635 Российская Федерация. Термо-преобразователь сопротивления / Куликов В. А., Никитин К. А., Сяктерева В. В. – заявл. 02.11.2012 ; опубл. 27.06.2013.

2. *Витер, В. И.* Некоторые особенности посмертной динамики температуры тела человека / В. И. Витер, В. А. Куликов // Судебно-медицинская экспертиза. – 1997. – Т. 40, № 1. – С. 11.

3. *Витер, В. И.* Современное состояние и направления развития теплового метода определения давности наступления смерти / В. И. Витер, В. А. Куликов // Проблемы экспертизы в медицине. – 2001. – Т. 01, № 3-3. – С. 3–9.

4. *Куликов, В. А.* Исследование градиентного датчика малых тепловых потоков в грунте / В. А. Куликов, К. А. Никитин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2(16). – С. 186–192.

5. *Сяктерева В. В.* Электротепловое моделирование системы «датчик-среда» при измерении теплопроводности грунта / В. В. Сяктерева, А. А. Зылев, В. А. Куликов // Вестник ИжГТУ. – 2009. – № 2. – С. 115–119.

УДК 621.385.833

С. И. Липанов, аспирант
Е. Ю. Шелковников, д-р техн. наук, зав. лабораторией
П. В. Гуляев, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Институт механики УрО РАН, г. Ижевск

Устройство для изоляции игл электрохимического СТМ

Получение изображений исследуемой поверхности с атомным разрешением с использованием электрохимического сканирующего туннельного микроскопа (ЭСТМ) позволяет применять его для работы под слоем электролита при электрохимических исследованиях. При этом атомное разрешение невозможно реализовать без атомарно острой зондирующей иглы (ЗИ), изготовленной по специально разработанным методикам [1]. Изготовление таких игл осуществляется методом травления, причем для получения наиболее острых зондов целесообразно применять комбинацию интенсивного электрохимического травления в щелочной среде с более медленным химическим дотравливанием в растворе красной кровяной соли (гексоцианоферрат калия III). При таком комбинировании травлений удается достичь приемлемого времени изготовления ЗИ и одновременно получить атомарно острую иглу [2]. Влияние профиля шейки ЗИ на характер микротопологии ее острия исследовалось в источнике [3]. Следует отметить, что при травлении иглы в пленке электролита комбинированным методом, исключающим электрополировку атомарных нановыступов кончика острия, травление шейки заготовки ЗИ происходит на границе раздела сред. Это позволяет, двигая пленку электролита вдоль заготовки ЗИ, осуществлять формирование заранее заданного профиля шейки в месте ее разрыва и управлять, таким образом, микротопологией кончика острия.

Для работы в электрохимической среде необходимо, чтобы погружаемая в электролит часть измерительной иглы была изолирована электрохимически инертной изоляцией, а открытым оставался бы только кончик ее острия. Качественное покрытие изоляцией обеспечивает сведение к минимуму фарадеевских токов и шумов, величина которых зависит от потенциала смещения острия, состава электролита и величины pH.

В данной работе предложено устройство для нанесения изоляции на иглу ЭСТМ [4]. Оно позволяет регистрировать изменения токов утечки через непокрытую часть иглы на всем протяжении процесса ее погруже-

© Липанов С. И., Шелковников Е. Ю., Гуляев П. В., 2015

ния в изолирующий материал в условиях, приближенных к реальным. Для реализации методики контроля токов утечки предложена конструкция бипотенциостата, интегрированного в структуру гибридного микроскопа [5].

Устройство для изоляции игл ЭСТМ (рис. 1, 2) содержит основание *1* с установленным на нем приводом микроперемещений *2*.

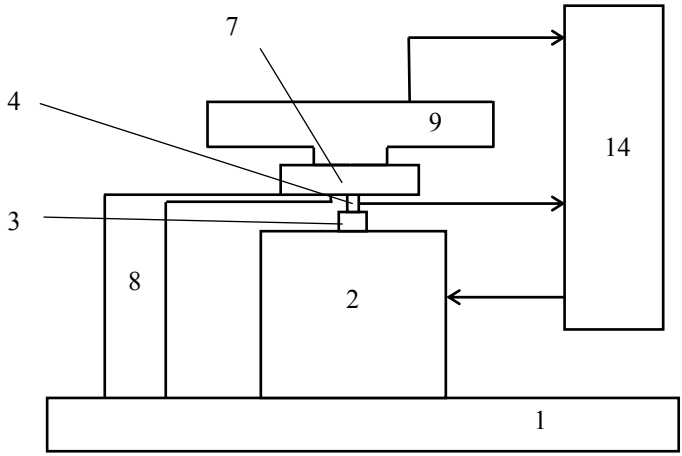


Рис. 1. Устройство для изоляции игл СТМ

Подвижная часть привода *2* содержит держатель *3* зондирующей иглы *4*. Теплопроводящий держатель *5* изолирующего материала 6 соединен с нагревателем *7* и закреплен на кронштейне *8*, установленном на основании *1*. Над держателем *5* установлена емкость *9* для электролита *10*, снабженная трубками подачи *11* и отвода *12* электролита. Конструкция емкости *9* позволяет формировать и удерживать на поверхности изолирующего материала тонкий слой электролита. Игла *4*, дополнительные электроды *13* и привод микроперемещений *2* подключены к блоку управления *14*.

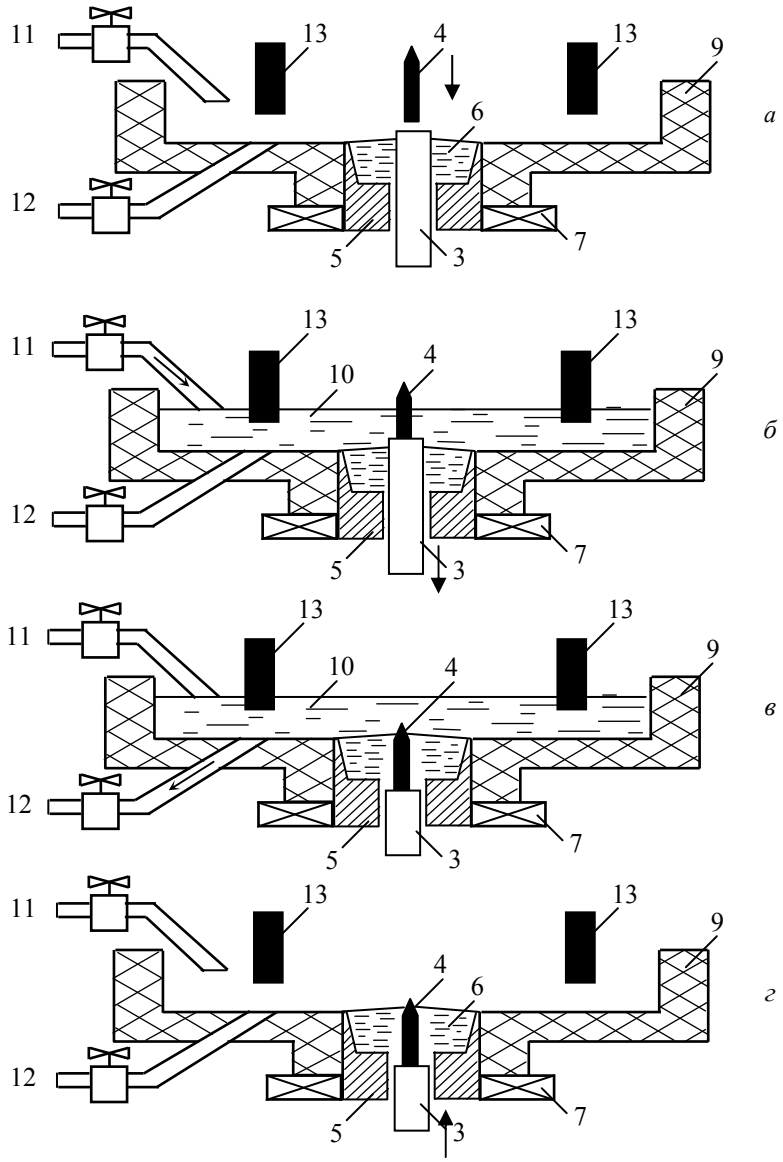


Рис. 2. Этапы нанесения изоляции на измерительную иглу с контролем токов утечки через ее непокрытую часть

Устройство работает следующим образом. Необходимое количество изолирующего материала помещают в держатель *5* и доводят его до расплавленного состояния (рис. 2). Силы поверхностного натяжения расплавленного материала при этом препятствуют его растеканию через небольшое отверстие в донной части держателя *5*. Иглу *4* устанавливают в держатель *3* иглы и заполняют емкость *9* электролитом *10*. Привод микроперемещений *2* начинает погружать иглу *4* в изолирующий материал *5*, а блок управления *14* подает напряжение между кончиком иглы *4* и электродами *13* и контролирует величину возникающего тока. При уменьшении тока до определенной величины блок управления *14* прекращает процесс погружения, и привод *2* микроперемещений приподнимает иглу *4* вверх. После этого проводится контрольное измерение тока и при необходимости повторное погружение иглы *4* в изолирующий материал. Окончательное извлечение иглы *4* осуществляется, если контрольные измерения тока показывают удовлетворительные результаты. Для поддержания температуры электролита на несколько градусов ниже температуры изолирующего материала организуют проточную систему подачи электролита с помощью трубок *11*, *12*. При выполнении измерений тока в простейшем случае достаточно иглы и одного электрода *13*, однако для более точного учета электродных процессов необходимо два электрода *13*. В таком случае реализуется трехэлектродная электрохимическая ячейка, в которой игла представляет собой рабочий (исследуемый) электрод, а первый и второй электроды *13* выполняют функции вспомогательного электрода и электрода сравнения.

Список литературы

1. Методика моделирования процесса электрохимического травления зондирующих игл сканирующего туннельного микроскопа / А. М. Липанов [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. – 2010. – Т. 12. – № 2. – С. 281–285.

2. Исследование влияния процесса теплопереноса на геометрическую форму острий СТМ-зондов в процессе их травления / Е. Ю. Шелковников [и др.] // Химическая физика и мезоскопия.– 2014. – Т. 16.– № 4. – С. 632–636.

3. Численные исследования микротопологии острия зондирующей иглы СТМ при его формировании электрохимическим методом / А. М. Липанов [и др.] // Ползуновский Альманах. – Барнаул : АлтГТУ, 2006. – С. 45–46.

4. Пат. № 2439209 российская Федерация, МПК C25D5/02, C25D19/00. Устройство для нанесения покрытия на зондирующую иглу / Гуляев П. В., Тюриков А. В., Шелковников Е. Ю., Кизнерцев С. Р., Осипов Н. И., Гафаров М. Р., Суворов А. С., Липанов С. И.

5. Гибридный туннельный микроскоп с интегрированным бипотенциостатом для изучения наночастиц / Е. Ю. Шелковников [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. – 2011. – Т. 13. – № 3. – С. 448–451.

УДК 621.314

О. Д. Микешкин, магистрант
В. И. Заболотских, д-р техн. наук, профессор
E-mail: zabvi@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Современные методы диагностики механического состояния обмоток силовых трансформаторов

Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две (или более) индуктивно связанные обмотки и предназначенное для преобразования посредством явления электромагнитной индукции одной (первичной) системы переменного тока в другую (вторичную) систему переменного тока [1]. Силовые трансформаторы являются самыми дорогими и критическими элементами оборудования в системе распределения электроэнергии, важнейшими элементами энергосистем. Известно, что срок службы силовых трансформаторов составляет не менее 30 лет, поэтому необходимо развитие и применение современных методов диагностики механического состояния обмоток для их контроля в течении всего времени эксплуатации [2].

В настоящее время в России более 50 % трансформаторов выработали свой ресурс. Но по литературным данным [3] известно, что выход из строя трансформатора чаще связан не с выработкой ресурса, а с образованием различных дефектов. Большая часть этих дефектов связана с неудовлетворительным состоянием изоляции обмоток трансформатора и изменением их геометрии. При этом изоляция также подвергается термохимическому износу, что является кумулятивным процессом и приводит к недопустимому ее состоянию по некоторым критериям эксплуатации [4].

Надёжность работы силовых электротехнических комплексов во многом определяется работой элементов, составляющих их, и в первую очередь, силовых трансформаторов, обеспечивающих согласование энергетического комплекса с системой потребления и преобразование ряда параметров электроэнергии в требуемые величины для дальнейше-

© Микешкин О. Д., Заболотских В. И., 2015

го ее использования. Но высокая степень износа трансформаторов имеет потенциальную опасность, как для обслуживающего персонала, так и для потребителей [3].

Важным параметром, определяющим безаварийную работу трансформаторного оборудования, является состояние геометрии обмоток, которая может изменяться при протекании сквозных токов короткого замыкания и приводить к деформациям обмоток, а в дальнейшем к витковым замыканиям, взрывам и пожарам с серьезными последствиями и ущербом по недоотпуску электроэнергии.

В настоящее время существует несколько наиболее распространенных методов оценки технического состояния обмоток трансформатора. Рассмотрим основные из этих методов.

Метод низковольтных импульсов (НВИ)

Суть данного метода заключается в том, что на ввод одной из обмоток трансформатора подается короткий прямоугольный импульс низкого напряжения (100–500 В), а с вводов других обмоток записываются осциллограммы реакций обмоток на воздействие этого импульса. Изменения в осциллограммах и их спектрах (получаемых в результате математической обработки) свидетельствуют о наличии или отсутствии деформаций обмоток трансформатора.

Таким образом, в основе метода НВИ лежит принцип последовательного дефектографирования, когда результаты текущих измерений сравниваются с результатами предыдущих измерений, а состояние трансформатора оценивается степенью отклонения нормограммы от дефектограммы [5].

Метод частотного анализа (МЧА)

Данный метод можно назвать развитием метода низковольтных импульсов. Метод основан на мониторинге изменения соответствующих емкостей и индуктивностей витков при изменении геометрии обмоток. Суть метода частотного анализа заключается в том, что от специального генератора на ввод обмотки подается зондирующий синусоидальный сигнал с изменением частоты в некотором диапазоне, а с вводов других обмоток регистрируются отклики – реакции обмоток на воздействие зондирующего сигнала (рис. 1) [6].

Отклики обмоток анализируются следующим образом:

– нахождением различия между откликами отдельных фаз трансформатора;

– нахождением различия между откликами трансформаторов аналогичной конструкции;

– нахождением изменения частот резонансов (требуются протоколы предыдущих испытаний).

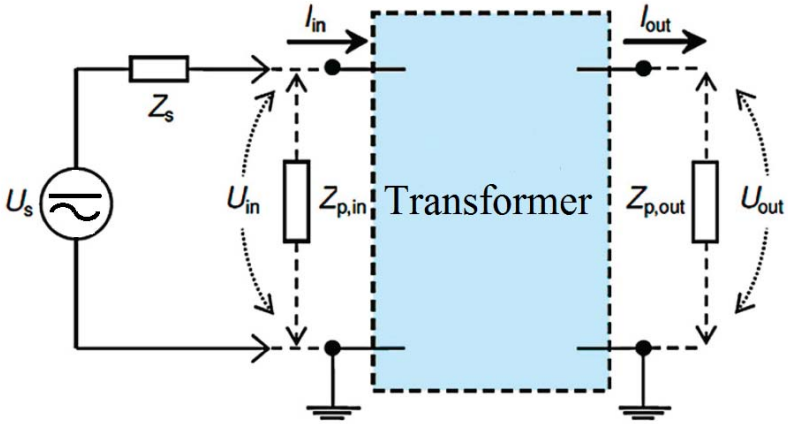


Рис. 1. Принцип измерения характеристик обмоток
по методу частотного анализа

Метод измерения сопротивления короткого замыкания (Zk)

Метод определения сопротивления короткого замыкания основан на опыте короткого замыкания трансформатора, при этом производится измерение тока первичной обмотки трансформатора при замыкании выводов других обмоток. Измерение производится при пониженном напряжении первичной обмотки промышленной частоты при условии, что ток первичной обмотки равен номинальному. По результатам измерения рассчитывается значение сопротивления короткого замыкания Zк [7].

При проведении измерений необходимо учитывать следующее: измерение Zк производится с использованием измерительных приборов (амперметров и вольтметров), включенных в измерительную схему, на отключенном и полностью расшинованном трансформаторе.

Измерения Zк трехфазных трансформаторов необходимо производить со стороны первичных обмоток, соединенных в «звезду» и имеющих нулевой провод. При измерениях напряжение следует подать на все три фазы первичных обмоток, измерение токов и напряжений производить пофазно с обязательным использованием нулевого провода, также измеряется активная мощность (рис. 2) [7, 8].

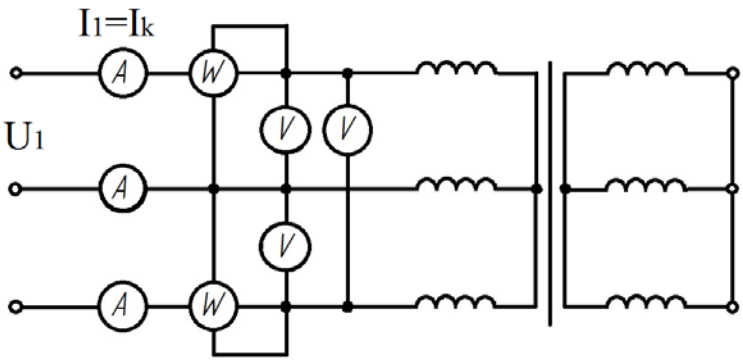


Рис. 2. Схема измерения сопротивления короткого замыкания

Метод вибрационного анализа

Вибрационное обследование силовых трансформаторов является весьма эффективным способом оценки их технического состояния. Наиболее важным параметром при диагностике трансформатора является состояние прессовки его обмоток и магнитопровода. В нормальных рабочих условиях именно эти элементы являются главным источником вибрации, которая передается на бак трансформатора через трансформаторное масло и твердые элементы конструкции. Частота этих колебаний лежит в диапазоне от 100 до 800 Гц.

В реальных трансформаторах вибрация ослабленных витков обмоток или ослабленных пластин магнитопровода добавляет высшие гармоники в спектр вибрационной характеристики трансформатора, и чем больше будет значение люфта этих элементов, тем выше будут соответствующие номера гармоник в спектральной характеристике и их амплитуда. Как правило, при проведении анализа состояния прессовки обмоток и магнитопровода используют 12 датчиков виброскорости: 6 на высоковольтной стороне бака трансформатора (HV) и 6 на низковольтной стороне (LV). Датчики должны быть примерно равноудалены от контролируемых элементов и не должны располагаться вблизи трубопроводов и ребер жесткости. Рекомендуемые места крепления датчиков виброскорости показаны на рис. 3 [9].

Таким образом, можно заключить, что рассмотренные основные методы получили широкое распространение в практике диагностики состояния силовых трансформаторов. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Например, метод вибрационного анализа позволяет диагностировать у трансформатора не только состояние его обмоток, но и состояние прессовки магнитопровода. С точки зрения возможности

реализации самым простым методом можно считать метод измерения сопротивления короткого замыкания, т. к. он не требует специализированного оборудования. Метод частотного анализа имеет самый большой потенциал, т. к. он наиболее чувствителен к изменению геометрии обмоток, но для его реализации требуется специальное оборудование.

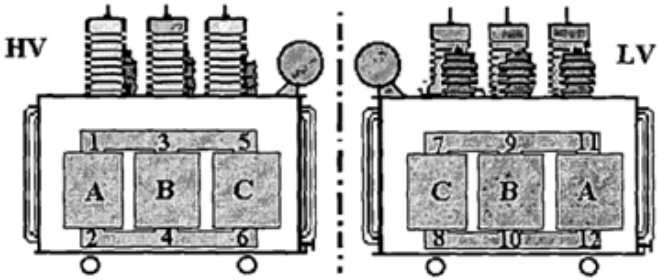


Рис. 3. Рекомендуемые места крепления датчиков виброскорости на баке трансформатора

Список литературы

1. *Кацман, М. М.* Электрические машины. – М. : Высш. шк., 2001. – 463 с.

2. URL: http://www.foresightcenter.ru/production/electric_utilties/transformatory_silovye/transformatory_silovye_tmn_2500/ (дата обращения: 25.10.2014).

3. *Москаленко, Р. В.* Перспективные пути совершенствования диагностики силовых трансформаторов // Ползуновский вестник. – № 2/2. – 2011. – С. 94–97.

4. Закон прост : консультац. Правов. служба. – URL: http://www.zakonprost.ru/content/ba-se/part/117404 (дата обращения: 27.10.2014).

5. *Барвинок, М. Б.* Разработка технологии контроля состояния обмоток трансформаторов на основе импульсного метода // Современные техника и технологии : сб. тр. XIX Междунар. науч.-практ. конф. (15–19 апр. 2013 г.) : в 3 т. – Т. 1. – Томск : Изд-во ТПУ, 2013. – С. 13–14.

6. *Кузьмин, О. А.* Современные методы диагностики силовых трансформаторов // Трансформаторы: эксплуатация, диагностирование, ремонт и продление срока службы : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург, 2010. – С. 227–232.

7. *Вольдек, А. И.* Электрические машины. – 2-е изд., перераб и доп. – Л. : Энергия. – 840 с.

8. Диагностика электрооборудования. – URL: http://www.transfort.ru/news/2011-04-12-37 (дата обращения: 28.10.2014).

9. *Вилков, С. А.* Обзор современных способов диагностирования силовых трансформаторов и автотрансформаторов // Современные научные исследования и инновации. – 2012. – № 9. – URL: http://web.snauka.ru/issues/2012/09/16794 (дата обращения: 31.10.2014).

УДК 621.3(045)

В. А. Морозов, канд. техн. наук, доцент
Е. С. Воробьев, магистрант
E-mail: j-vorobey@ya.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Компенсация реактивной мощности с использованием тиристорных контакторов

В настоящее время проблема качества электрической энергии и, в частности компенсации реактивной мощности в электрических системах, становится все более актуальной.

Распространенным устройством компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленности являются низковольтные конденсаторные установки, управляемые специальными электромеханическими контакторами (пускателями). Временной интервал задержки переключения ступеней составляет в среднем около 60 секунд [1]. При наличии резкопеременных нагрузок, например, кранов, прессового и штамповочного оборудования, оборудования для сварки, оборудования бурения и т. п., такая задержка при коммутации является недопустимой. В связи с этим целесообразно применять статические компенсаторы реактивной мощности, обеспечивающие возможность безынерционного регулирования реактивной мощности, задержка при коммутации которых составляет сотые доли секунды. Помимо быстродействия, к положительным качествам тиристорных контакторов можно отнести отсутствие искрения и дугообразования при коммутации, неограниченный ресурс по числу коммутаций.

Несмотря на ряд преимуществ перед электромеханическими контакторами, тиристорные контакторы имеют недостатки, ограничивающие их использование:

– падение напряжения на каждом тиристорном ключе приводит к излучению на нем 1–1,3 Вт тепловой мощности на каждый ампер проводимого тока;

– необходимость использования специальных охладителей с естественным или принудительным охлаждением, обеспечивающих нормальный тепловой режим работы;

– увеличенные размеры за счет системы охлаждения;

– высокая стоимость.

© Морозов В. А., Воробьев Е. С., 2015

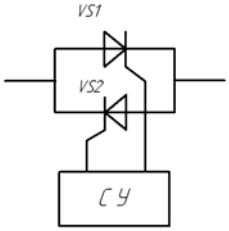


Рис. 1. Тиристорный регулятор переменного тока

Тиристоры представляют собой полупроводниковые элементы, которые переводятся в проводящее состояние подачей сигнала на управляющий электрод. В этом состоянии ток протекает в одном направлении – от анода к катоду. При падении тока сигнала управления до нуля тиристор закрывается. Импульсы управления тиристорами создаются при помощи системы управления, которая включают в себя формирователи импульсов, и входное устройство, синхронизирующее импульсы управления тиристорами с сетевым напряжением (рис. 1).

Такая схема используется в регуляторах реактивной мощности для компенсации реактивной мощности емкостного характера, которая может возникать, например, в инверторах тока или фильтрокомпенсирующих устройствах [2].

Схема и диаграмма компенсатора реактивной мощности представлены на рис. 2.

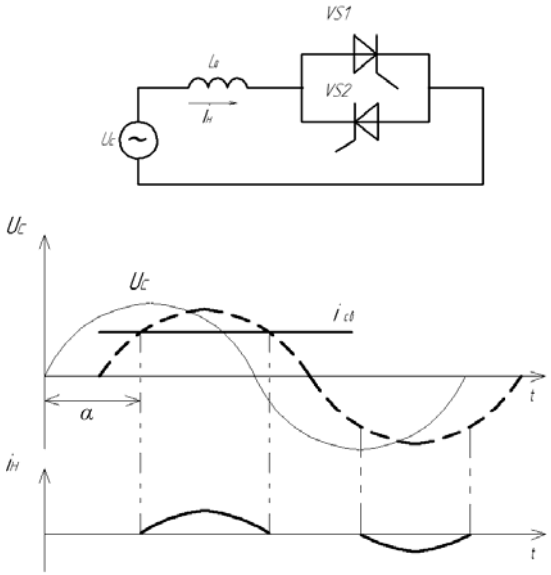


Рис. 2. Компенсатор реактивной мощности (силовая схема, диаграмма работы)

На вход компенсирующего устройства подается синусоидальное напряжение, тиристоры идеальные, потерь нет. В момент, определяемый углом управления α, находящимся в интервале $[\pi/2;\pi]$, тиристор VS1 коммутируется импульсом управления. Тиристор включится и через индуктивность L_0 начнет протекать ток. В момент управления $(2\pi - \alpha)$ ток, проходящий через индуктивность становится равным нулю и тиристор VS1 выключается. Затем в момент $(\pi + \alpha)$ подается импульс управления на тиристор VS2, и ток в реакторе начинает протекать в противоположном направлении. Ток в реакторе при периодическом следовании импульсов управления имеет периодический характер, и его можно разложить в периодический ряд.

Действующее значение первой гармоники тока:

$$I_{L01} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{\max} (\alpha - \pi \sin 2\alpha) .$$

Изменяя угол α в интервале $[\pi/2;\pi]$, можно получить изменение действующего значения тока первой гармоники в интервале ($I_{\max}/\sqrt{2}$; 0).

В промышленности обычно используются трехфазные компенсаторы реактивной мощности. На рис. 3 приведен пример наиболее распространенной схемы трехфазного компенсатора реактивной мощности с использованием тиристорных контакторов.

Тиристорные ключи чувствительны к рабочей температуре, импульсным перенапряжениям, помехам, присутствующим в электрической сети, превышению рабочего тока. Для обеспечения надёжной работы ключей приходится применять специальные меры:

– использование быстродействующих предохранителей (чаще всего электронных) для защиты от токов перегрузки и коротких замыканий;

– использование RC-цепей для ограничения скорости нарастания напряжения на тиристорах (dU/dt);

– использование дросселей в цепи ключей для ограничения максимальной скорости нарастания тока (dI/dt), вызванной наличием гармоник и зоной нечувствительности схемы контроля перехода через ноль;

– использование охладителей.

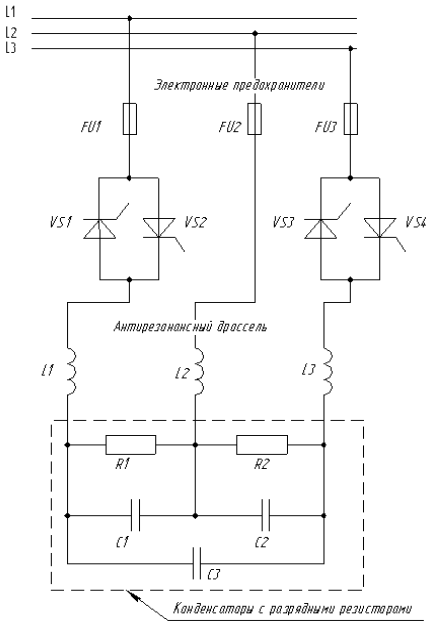


Рис. 3. Схема установки тиристорной компенсации реактивной мощности

Список литературы

1. Электрические и электронные аппараты : учеб. для вузов / под ред. Ю. К. Розанова. – 2-е изд. – М. : Информэлектро, 2001.

2. *Геворкян, М. В*. Современные компоненты компенсации реактивной мощности (для низковольтных сетей) : справ. изд. – Издат. дом «Додэка-XXI», 2003. – 64 с.

УДК 621.365.22

Б. Т. Нуруллин, магистрант
E-mail: nurullinbulat95@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование удельного потребления электроэнергии дуговой сталеплавильной печи с целью составления прогнозов для оптового рынка электроэнергии

В данной статье описано исследование удельного потребления электрической энергии дуговой сталеплавильной печью с целью составления достоверных прогнозов для работы на оптовом рынке. Эти прогнозы должны обладать высокой устойчивостью в зависимости от изменения режимов работы предприятий и изменений различных внешних факторов, влияющих на работу печи.

Для каждого предприятия, являющегося участником ОРЭ, следует подавать администратору торговой системы почасовые заявки с упреждением в соответствии с регламентом. В течение месяца, предшествующему операционному, производится отбор заявок на рынке. Из фактической мощности, потребленной за месяц, выделяются части, соответствующие двустороннему договору и заявленным значениям почасового потребления. Непотребленные остатки приобретаются или продаются на балансирующем рынке, цены на котором гораздо выше. Этот фактор требует высокой точности и безошибочности прогнозирования нагрузок. Если предприятие будет подавать ошибочные заявки, то его участие в ОРЭ будет только убыточным [1].

Это значит, что при таких условиях на рынке электроэнергии крупным металлургическим предприятиям очень важно вовремя создавать систему учета и прогнозирования потребления электрической энергии за сутки, месяцы, полугодия и т. д., позволяющую сделать отклонения количества потребляемой энергии от заявленной на рынке по возможности минимальными.

Способу плавления стали в электродуговых печах принадлежит главная роль в производстве высококачественной и легированной стали. Благодаря некоторым особенностям этот способ наиболее приспособлен для получения качественного металла с практически любым составом сплава и низким содержанием серы, кислорода, фосфора и других примесей, ухудшающих качество стали и высоким содержанием легирующих элементов, придающих стали нужные потребителю свойства – хро-

© Нуруллин Б. Т., 2015

ма, марганца, никеля, кремния, вольфрама, ванадия, титана, циркония и других элементов. Большим преимуществом дуговой плавки по сравнению с другими видами сталеплавильного производства связаны с использованием электрической энергии. Выделение тепла в электропечах происходит в определенных зонах: либо на поверхности нагреваемого металла, либо в непосредственной близи от его поверхности [рис. 1].

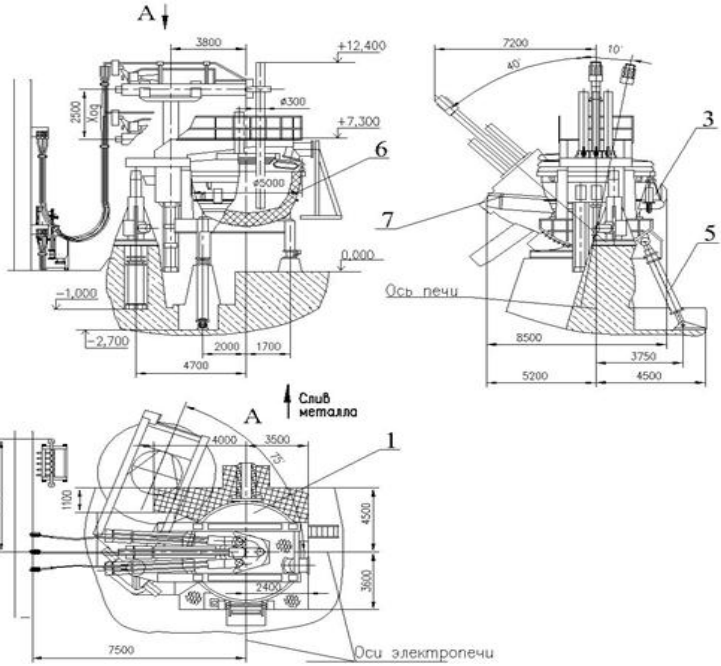


Рис. 1. Дуговая печь ДСП 25: *1* – свод; *2* – кожух; *3* – рабочее окно; *4* – механизм перемещения электродов; *5* – механизм наклона печи; *6* – футеровка ванны; *7* – сливной желоб

Это означает, что в сравнительно небольшом объеме печи можно сконцентрировать значительную тепловую мощность и быстро нагревать металл до высоких температур, вводить в печь большие количества легирующих присадок; создавать в печи восстановительную атмосферу и использовать безокислительные шлаки, тем самым уменьшая угар легирующих материалов; плавно и точно регулировать температуру металла; более полно, чем других печах, раскислять металл, убирая из его состава лишние неметаллические включения. Расход тепла и изменение

температуры металла при электродуговой плавке довольно легко поддаются контролю и регулированию, что очень удобно при автоматическом регулировании производства. Электродуговая печь лучше других приспособлена для переработки металлического лома, тем более шихтой может быть занят весь внутренний объем печи, при этом процесс расплавления не усложняется. Металлический лом можно загружать в дуговую печь непрерывно при помощи автоматических дозирующих устройств. В электродуговых печах можно выплавлять сталь практически любого сортамента.

Исследование и формализация перечня исходных данных для прогнозирования электропотребления

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов основываются на анализе статистики, полученной по данным автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии металлургического предприятия ОАО «Ижсталь» в течение последнего квартала 2013 г. с пятиминутным интервалом осреднения и сопоставления полученных результатов прогнозирования с экспериментальными данными. Полученные данные были обработаны и преобразованы в более информативно емкую, удобную для восприятия и дальнейшего изучения таблицу. Для этих целей использовались следующие формулы [2]:

$$P = \sum_{i=1}^{n} P_i \text{, [КВт]},$$

где P – мощность, потребляемая за одну плавку; n – количество пятиминутных мощностей за одну плавку.

Для обеспечения правильности прогнозирования были выбраны те факторы, вклад которых в электропотребление является значительным, а совокупность этих факторов представляет собой репрезентативную выборку. Выбор таких факторов для каждого случая является отдельной задачей, требующей предварительного оценивания влияния предполагаемых факторов прогнозирования до начала прогнозирования. Такими факторами в нашем случае являются различия физико-химических свойств разных марок стали (например, при варке недорогих сплавов расходуется сравнительно небольшое количество энергии, а при варке дорогих, легированных сплавов энергии потребляется больше) и различия количества потребляемой энергии в разные промежутки времени процесса расплавления и варки стали.

Для каждого сплава, варившегося в дуговой печи более одного раза за выбранный квартал, находятся средние значения потребляемой мощности и энергии и значение удельного потребления энергии. Удельное потребление энергии – это количество израсходованной энергии на расплавление и варку одной тонны сплава:

$$Q = \frac{W_{эн}}{m_{сплава}} \text{ [(КВт·ч)/т].}$$

где $W_{эн} = P / 12$ кВт·ч – определение почасового потребления электроэнергии; $m_{сплава}$ – масса сплава (1 тонна).

Средние значения потребляемой мощности $P_{ср}$ и потребляемой энергии $W_{ср}$:

$$P_{ср} = \sum_{i=1}^{n} P_{сп} / n \text{ [кВт],}$$

$$W_{ср} = \sum_{i=1}^{n} W_{сп} / n \text{ [кВт·ч],}$$

где $P_{сп}$ – мощность потребленная за одну плавку определенной марки стали; n – количество плавок одной марки стали; $W_{сп}$ – количество электроэнергии, израсходованной за одну плавку определенной марки стали.

Средние значения потребляемой мощности и потребляемой энергии:

$$P_{ср} = \sum_{i=1}^{n} P_{сп} / n \text{ [КВт],}$$

где $P_{сп}$ – мощность потребленная за одну плавку определенной марки стали; n – количество плавок одной марки стали.

$$W_{ср} = \sum_{i=1}^{n} W_{сп} / n \text{ [КВт·ч],}$$

где $W_{сп}$ – количество электроэнергии, израсходованной за одну плавку определенной марки стали.

Средние значения затрачиваемой мощности, энергии и удельного потребления энергии нужны нам для упорядочения и компоновки информации о каждой марке стали, для удобства последующего составления прогноза. Пример удельного потребления электроэнергии для сплавов разных марок приведен в таблице.

Пример удельного потребления электроэнергии

№ группы	Марка	Среднее потребление энергии (МВт · ч)	Средняя потребленная мощность (МВт)	Средняя масса плавки (т)	Удельное потребление энергии (МВт · ч/т)
1	45ХН2МФА	17,7	212,6	28,4	0,62
	03Х17Н5Д3Б	18,3	219,4	26,9	0,68
	40ХН	17,7	212,4	28,2	0,63
	40Г1Р	17,9	214,4	28,1	0,64
	СВ-10ГН	17,5	210,4	28,4	0,62
	СВ-08ХМФА	17,8	213,5	28,2	0,63
	А2	17,9	214,9	27,3	0,66
	30ХН2МФА	18,3	219,2	28	0,65
Итого		**18,3**	**219,1**	**27,9375**	**0,64125**

Окончание таблицы

№ группы	Марка	Средн.пот-реб. энер. (МВт · ч)	Средн. потреб. мощн.(МВт)	Средн. масса пл-ки(т)	Удель. потр. энер. (МВт · ч/т)
2	СВ-09Х16Н25М6АФ	19,6	235,3	27,2	0,72
	У12А	20,1	241,5	28	0,72
	50ПП	19,6	235,7	27,9	0,7
	Б-31	19,6	234,8	24,6	0,8
	Б-8	19,5	234,1	26,6	0,73
	30Х3ВА	20,1	241,7	27,9	0,72
	38ХН3МА	20,2	242,4	17,4	1,16
Итого		**19,8**	**237,9**	**25,65714**	**0,79285714**
3	40Х2Н2МА	16,2	194,4	28,3	0,57
	12Х2Н4А	15,8	189,9	28,4	0,56
	09Х16Н4Б	15,8	190	25,7	0,61
	19ХГНМА-В	15,3	184	28,3	0,54
	Р6М5	16,3	195,3	29	0,56
	9Х1	15,7	188,8	28,3	0,55
	12ХН3А	15,9	190,7	28	0,57
	12ХН2	16,2	194,1	24,4	0,66
	95Х18	15,7	188,9	27,9	0,56
	СВ-07Х25Н13	15,8	189,4	26,7	0,59
	СВ-03ХН3МД	16,2	194,3	27,6	0,59
	6ХВ2С	15,5	186,8	28,4	0,55
	Р18	16,1	193,5	28,2	0,57
	25Х1МФ	15,6	187,5	28,1	0,56
	Р9М4К8	15,7	189,2	28,7	0,54
Итого		**15,9**	**190,5**	**27,73333**	**0,572**

Список литературы

1. *Кудрин, Б. И.* Электроснабжение промышленных предприятий. – 2-е изд. – М. : Интернет-инженерия, 2006.

2. *Кудрин, Б. И.* Методика обеспечения почасового прогнозирования электропотребления предприятий с учетом погодных факторов / Б. И. Кудрин, А. В. Мозгалин // Вестник МЭИ. – 2007. – № 2.

УДК 378.147

О. В. Пиманова, ст. преподаватель
E-mail: pimanova_o_v@istu.ru, olga22021961@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Анализ успеваемости студентов по дисциплине «Электротехника и электроника»

Настоящее исследование охватывает период с 2009 по 2014 учебные годы включительно в целях анализа эффективности обучения студентов направления «Информатика и вычислительная техника» профилей «САПР» и «АСОИУ» по дисциплине «Электротехника и электроника» [1–5].

При исследовании были получены и обработаны данные 255 оценок студентов 2-го курса и учитывались оценки первой попытки сдачи экзаменов, остальные попытки не учитывались.

Проведение мониторинга успеваемости позволяет получить успеваемость студентов в течение учебного года. В результате анализа выявлены причины, влияющие на успеваемость студентов 2-го курса по дисциплине «Электротехника и электроника»:

1. Недостаточная подготовка в школе по математике и физике.

Студенты затрудняются при решении системы линейных уравнений, не могут решать домашние задания, контрольные работы № 1, расчётно-графическую работу 1 (РГР1) по цепям постоянного тока, не знают основные понятия по физике.

2. Слабое владение алгеброй комплексных чисел не позволяет глубоко освоить цепи переменного однофазного и трёхфазного токов. Студенты не справляются с домашними заданиями, контрольной работой № 2, расчётно-графической работой № 2.

3. При изучении цепей несинусоидального тока необходимо знание рядов Фурье. Анализ переходных процессов в линейных электрических цепях требует умения решать дифференциальные уравнения 1-го, 2-го порядка. Пять процентов из студентов могут сделать, не затрудняясь. Отсутствует самообразование, желание учиться, познавать новое.

На рис. 1 показана диаграмма успеваемости профиля «АСОИУ» за период 2009–2014 учебных годов от оценки «неудовлетворительно» до «отлично».

Анализируя диаграмму успеваемости профиля «АСОИУ», можно заметить процент освоивших программу курса на «хорошо» и «отлично»

© Пиманова О. В., 2015

имеет пик на 2009/10 уч. год – 65 %, а затем идёт на спад до 37 % в 2012/13 уч. году, а далее с 2013/14 уч. года процент освоивших программу возрос до 49 %.

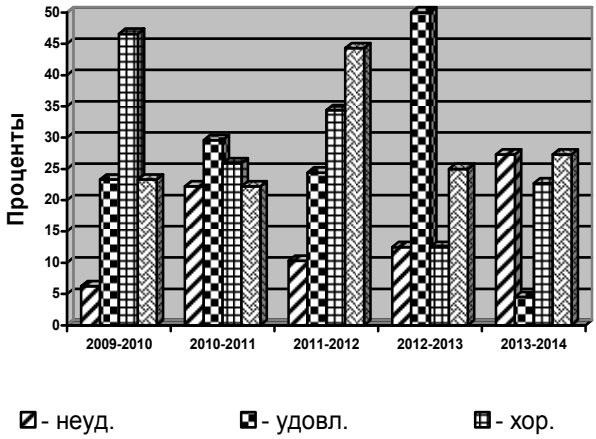


Рис. 1. Диаграмма успеваемости студентов профиля «АСОИУ»

Более 40 % занимаются стабильно, систематически, с желанием. С 2012/13 уч. года студенты занимаются по новой образовательной программе ФГОС, и дисциплина имеет название «Электротехника, электроника, схемотехника». Увеличилось количество часов на дисциплину. В осеннем семестре запланированы практические занятия в объёме 32 часов. Проведение практических занятий положительно повлияло на изучение курса. Уменьшается количество студентов не освоивших программу курса.

Имеется в 2013/14 уч. году увеличение: 27 % студентов, не освоивших курс, – издержки «сберегательной технологии». Студенты не торопятся сдавать домашние задания, выполнять контрольные задания, РГР, посещать занятия. «Сильно заняты» работой на предприятии, общественной работой, ставят учёбу на второй план. Поскольку студентам дают возможность сдать экзамен в другом семестре, когда освоят дисциплину.

На рис. 2 представлена диаграмма успеваемости профиля «САПР».

Студенты «САПР» занимаются более успешно, стабильно, чем студенты «АСОИУ».

Число успешно занимающихся студентов на «хорошо» и «отлично» растёт с 56 до 85 %, 2011/12 уч. год – пик. Число, не освоивших про-

грамму курса уменьшается, но в 2013/14 уч. году чуть больше, а в 2010/11 и 2012/13 уч. годах – отсутствуют студенты, сдавшие экзамен на «неудовлетворительно».

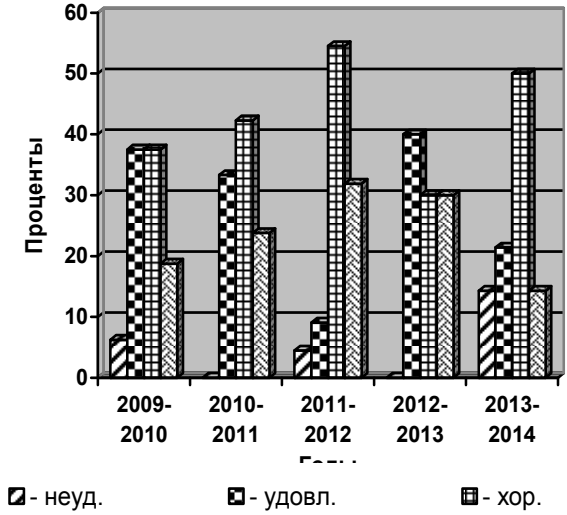


Рис. 2. Диаграмма успеваемости студентов профиля «САПР»

Студенты профиля «САПР» более дисциплинированны, сплочены, есть лидеры в группе, помогающие отстающим студентам.

На рис. 3 приведён проходной балл ЕГЭ студентов «АСОИУ» и «САПР» с 2009/10 по 2013/14 уч. годы включительно.

Проходной балл ЕГЭ возрастает со 184 до 204 (АСОИУ) а на профиле «САПР» со 177,5 до 206 в 2011/12 уч. году, затем чуть уменьшается. Проходной балл ЕГЭ студентов АСОИУ выше, чем проходной балл студентов САПР. Однако успешность обучения студентов АСОИУ ниже, чем студентов САПР. Что мешает реализовать свои способности?

Тенденция к увеличению проходного балла ЕГЭ имеется, но на успеваемость по дисциплине «Электротехника, электроника, схемотехника» не сказалось положительно. Поскольку с 2010/11уч. года абитуриенты стали сдавать информатику вместо физики, что сказалось не лучшим образом на успеваемость студентов по исследуемой дисциплине.

На рис. 4 представлен средний балл по курсу «Электротехника, электроника, схемотехника» по годам.

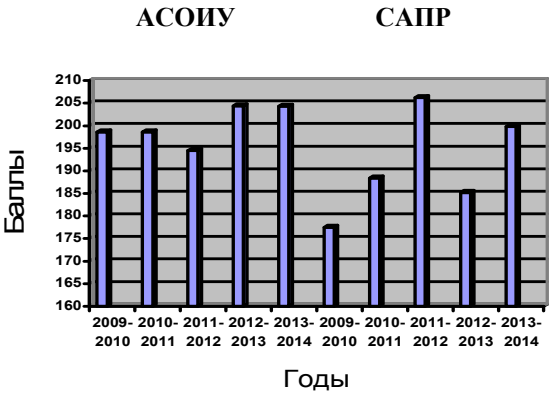


Рис. 3. Проходной балл ЕГЭ профилей «АСОИУ» и «САПР» по годам

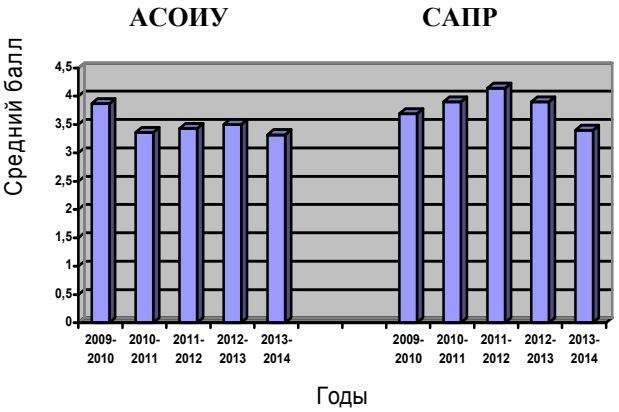


Рис. 4. Средний балл по курсу «Электротехника, электроника, схемотехника» студентов профилей «АСОИУ» и «САПР»

Средний балл успеваемости студентов АСОИУ имеет пик в 2009/10 уч. году, затем – провал, небольшой подъём и снова снижение.

Студенты САПР имеют средний балл выше, чем студенты АСОИУ. Средний балл студентов САПР растёт, достигая максимума в 2011/12 уч. году – 4,14 балла, а затем имеет тенденцию снижения, что является следствием слабой подготовки в школе, неумения учиться, отсутствия самообразования, попытки совмещать работу и учёбу.

Несмотря на то что есть проблемы, есть и резервы, которые необходимо реализовать. В группах назначаются консультанты из числа ус-

пешно осваивающих курс, которые помогают студентам, отстающим или пропустившим занятия выполнять домашние задания, РГР, найти ошибки в расчётах.

Во время практических, лабораторных занятий объединяем в бригаду «сильного» и «лабого» студента для решения задач, выполнения лабораторных работ.

Индивидуальный подход к студенту, его проблемам по учёбе, быту, беседы индивидуального плана с отстающими студентами, проведение дополнительных консультаций – всё это приведёт к положительному освоению программы курса.

Автор статьи выражает благодарность специалисту деканата ИВТ Волковой Наталье Владимировне за предоставленную информацию.

Список литературы

1. *Иванов, Д. А.* Компетентностный подход в образовании. Проблемы, понятия, инструментарий / Д. А. Иванов, К. Г. Митрофанов, О. В. Соколова. – М. : АПК и ППРО, 2005. – 101 с.

2. *Хуторский, А. А*. Ключевые компетенции как компонент личностно ориентированной парадигмы образования // Народное образование. – 2003. – № 2.

3. *Курочкина, В. Е*. Теория и практика реализации компетентностного подхода в высшем профессиональном образовании // Социальная сфера общества: инновационные тенденции развития : материалы Всерос. форума (2 ноября 2010 г.). – Краснодар : ИЭиУ МиСС, 2010. – С. 115–120.

4. Министерство образования и науки Российской Федерации. Приказы. Об утверждении и введении в действие федерального образовательного стандарта ВПО по направлению подготовки 230100 Информатика и вычислительная техника (квалификация (степень) бакалавр) [от 09.11.2009 г. № 553] // Закон прост! : правов. консультац. служба. – URL: http://www.zakonprost.ru/content/base/146482 (дата обращения: 19.05.2015).

5. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Специальность 552800 Информатика и вычислительная техника, степень (квалификация) магистр техники и технологии. – М., 2000. – 25 с.

УДК 681.327.12

Я. А. Порсев, магистрант
В. И. Заболотских, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электротехника»
E-mail: porsevja@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Выбор микроконтроллера и моделирование регистратора ударных процессов в среде *Proteus*

Экспериментальные исследования объектов техники на ударные воздействия являются актуальной задачей. Общей характеристикой таких ударных процессов является возникновение однократной нагрузки импульсного характера на длительном интервале наблюдения [1, 2].

Функции микропроцессорной системы

Для разработки структурной схемы микропроцессорной системы (МПС) управления регистратором ударных процессов, перечислим функции [3] разрабатываемой системы:

– начальный запуск системы;

– инициализация параметров;

– прием данных с датчиков и их обработка в соответствии с алгоритмом;

– хранение зарегистрированных данных;

– вывод экстремальных значений сигнала на дисплей регистратора.

Исходя из заданных требований и перечисленных функций, можно выделить основные модули микропроцессорной системы регистрации экспериментальной информации.

Датчики

Датчики необходимы для преобразования физического воздействия (давление, скорость, ускорение, сила, перемещение и т. д.) в электрический сигнал, который измерительная система могла бы в реальном времени регистрировать в оперативной памяти. В настоящее время в литературных источниках представлена большая номенклатура датчиковой аппаратуры и различных типов датчиков, некоторые из которых являются узкоспециализированными. В тоже время существуют датчики, позволяющие измерять несколько параметров. В качестве примера будет использоваться датчик давления MPX 4250 ввиду его широкой распространённости и невысокой цены.

Устройство управления

Главной частью микропроцессорной системы является устройство управления, оно обеспечивает программное управление процессом реги-

© Порсев Я. А., Заболотских В. И., 2015

страции и обработки измерительной информации с датчиков и выработку управляющих сигналов для внешних устройств, а также отображение информации на устройстве индикации. Для выбора микроконтроллера системы управлением регистратором проведем анализ возможностей микроконтроллеров семейства *AVR* фирмы Atmel.

Устройства индикации

Устройство индикации LM041L необходимо для визуального вывода экстремальных значений для оценки параметров ударного воздействия. Устройство представляет собой 4 строки по 16 символов.

Вариант структуры

В соответствии с перечисленными выше функциями можно определить общую структуру МПС. Структурная схема микропроцессорного регистратора представлена на рис. 1. Устройство управления получает от датчиков ударного воздействия данные, преобразует их в соответствии с алгоритмом работы и формирует массив цифровых экспериментальных данных в оперативной памяти, а также выдает экстремальные данные на устройство индикации для отображения максимальных значений.

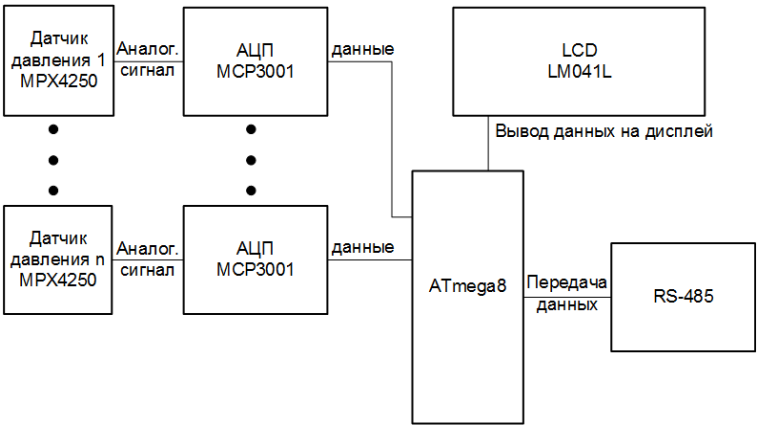


Рис. 1. Структурная схема микропроцессорного регистратора

Выбор микроконтроллера

Микроконтроллер выбираем из семейства *AVR* фирмы *Atmel*, поскольку данное семейство контроллеров имеет высокое быстродействие, обладает хорошим показателем функциональность/цена и имеет множество моделей различной структуры функционального наполнения [4, 5]. Эти микроконтроллеры достаточно широко распространены, для них

существуют удобные среды разработки программного обеспечения, и они имеют достаточное количество технического описания на русском языке.

Широко представленная корпорация *Atmel* (США) на мировом, а также и на российском рынке электронных разработок, является одним из доминирующих лидеров в разработке и производстве сложных изделий микроэлектроники – микроконтроллеров, микросхем программируемой логики, устройств энергонезависимой памяти высокого быстродействия и минимального удельного энергопотребления.

Микроконтроллеры *AVR* имеют гарвардскую архитектуру (программа и данные находятся в разных адресных пространствах) и систему команд, близкую к идеологии *RISC*-процессоров. Процессор *AVR* имеет 32 8-битных регистра общего назначения, объединённых в регистровый файл.

В отличие от *RISC*-процессора, регистры микроконтроллеров *AVR* не абсолютно ортогональны и имеют следующие особенности:

– три «сдвоенных» 16-битных регистра-указателя X (r26:r27), Y (r28:r29) и Z (r30:r31);

– некоторые команды работают только с регистрами r16…r31;

– результат умножения (в тех моделях, в которых есть модуль умножения) всегда помещается в r0:r1.

Команды микроконтроллеров *AVR* весьма оригинальны, и их количество в различных моделях колеблется от 90 до 133 инструкций. Большинство команд выполняется за 1 такт и занимает только 1 ячейку памяти (16 бит).

Команды микроконтроллеров *AVR* можно условно представить следующими группами:

– команды логических операций;

– команды операции с битами;

– команды арифметических операций и команды сдвига;

– команды передачи управления;

– команды пересылки данных;

– команды управления системой.

Управление работой периферийных устройств осуществляется через адресное пространство данных, а также существуют «сокращённые команды» IN/OUT.

Стандартные конфигурации микроконтроллеров:

1. TinyAVR (ATtinyxxx):

– флеш-память до 16 Кб; SRAM до 512 б; EEPROM до 512 б;

– число линий ввода-вывода 4–18 (общее количество выводов 6–32);

– ограниченный набор периферийных устройств.

2. MegaAVR (ATmegaxxx):

– флеш-память до 256 Кб; SRAM до 8 Кб; EEPROM до 4 Кб;

– число линий ввода-вывода 23–86 (общее количество выводов 28–100);

– аппаратный умножитель;

– расширенная система команд и периферийных устройств.

3. XMEGA AVR (ATxmegaxxx):

– флеш-память до 384 Кб; SRAM до 32 Кб; EEPROM до 4 Кб;

– четырёхканальный DMA-контроллер, обеспечивающий прямой доступ к памяти.

Как правило, цифры после префикса обозначают объём встроенной flash-памяти (в КБ) и модификацию контроллера. Максимальная степень двойки, следующая за префиксом, обозначает объём памяти, а оставшиеся цифры определяют модификацию (например, ATmega128 – объём памяти 128 КБ; ATmega168 – объём памяти 16 КБ, модификация 8; ATtiny44 и ATtiny45 – память 4 КБ, модификации 4 и 5 соответственно).

На основе стандартных конфигураций выпускаются микроконтроллеры, ориентированные под конкретные задачи:

– со встроенными интерфейсами USB, CAN, контроллером LCD;

– со встроенным радиоприёмопередатчиком – серии ATAxxxx, ATAMxxx;

– для управления электродвигателями – серия AT90PWMxxxx;

– для автомобильной электроники;

– для осветительной техники.

Кроме указанных выше семейств, Atmel выпускает 32-разрядные микроконтроллеры семейства AVR32, которые включают в себя подсемейства AT32UC3 с тактовой частотой до 66 МГц и AT32AP7000 с тактовой частотой до 150 МГц.

Очевидно, что серия «tiny» не сможет справиться с поставленной задачей, т. к. количество выводов у этих микроконтроллеров невелико (максимальное количество выводов у ATtiny2313 – 20)

Таким образом, выбор микроконтроллера будет осуществляться из серии «mega», а оптимальным решением будет микроконтроллер ATmega8, т. к. он обладает достаточным объемом памяти, необходимым количеством выводов и высоким быстродействием.

Структура и состав микроконтроллера Atmega8.

В рассматриваемом микроконтроллере АЛУ связано непосредственно с 32 рабочими регистрами, составляющими регистровый файл. По этой причине АЛУ выполняет одну операцию (чтение содержимого регистров, выполнение операции и запись результата обратно в регистровый файл) за 1 машинный цикл.

Гарвардская архитектура микроконтроллеров AVR обеспечивается раздельной памятью программ и данных, каждая из которых имеет отдельные шины доступа. Данная организация памяти позволяет работать одновременно как с памятью программ, так и с памятью данных. В отличие от RISC-микроконтроллеров других фирм, в микроконтроллерах *AVR* используется 2-уровневый конвейер с длительностью машинного цикла 1 период тактового генератора.

Программное обеспечение для микроконтроллера

Для написания программ для микроконтроллера будет использован язык Си, т. к. он позволяет создавать программы более простые в написании, более наглядные и не требует специфических знаний ассемблера и особенностей данного микроконтроллера. Написание прошивки микроконтроллера будет выполнено в программе *CodeVisionAVR*. Данная программа условно бесплатна, создана специально для работы с микроконтроллерами *AVR*, есть библиотеки для микроконтроллеров, а также есть инструмент начального создания кода.

Моделирование работы микроконтроллера

Для того чтобы убедиться в правильности работы микропроцессорной системы, необходимо провести моделирование работы микроконтроллера. Для данных целей будем использовать САПР *Proteus ISIS 7.10 Professional*.

САПР *Proteus ISIS 7.10 Professional* представляет собой систему схемотехнического моделирования. Отличительной чертой является реализация процесса моделирования работы программируемых устройств: микроконтроллеров, микропроцессоров, цифровых сигнальных процессоров. Бесплатная ознакомительная версия пакета обеспечена полной функциональностью, но имеет ограничения по возможности сохранения файлов.

В данной САПР будет промоделирована вся система. В качестве прошивки будет использоваться программное обеспечение, написанное ранее в *CodeVisionAVR*. Схема электрическая принципиальная, собранная в *Proteus*, приведена на рис. 2.

В данной статье описываются функции, выполняемые микропроцессорной системой, основными модулями, вариант разрабатываемой системы, а также описан выбор программного обеспечения. В качестве языка программирования был выбран Си, потому что он удачно сочетает возможности программирования низкого уровня со свойствами языка высокого уровня. Также практически все компиляторы Си имеют возможность использовать ассемблерные вставки для написания более быстро выполняемых участков программы. Моделирование микропроцессорной системы проведено в САПР *Proteus ISIS 7.10 Professional.*

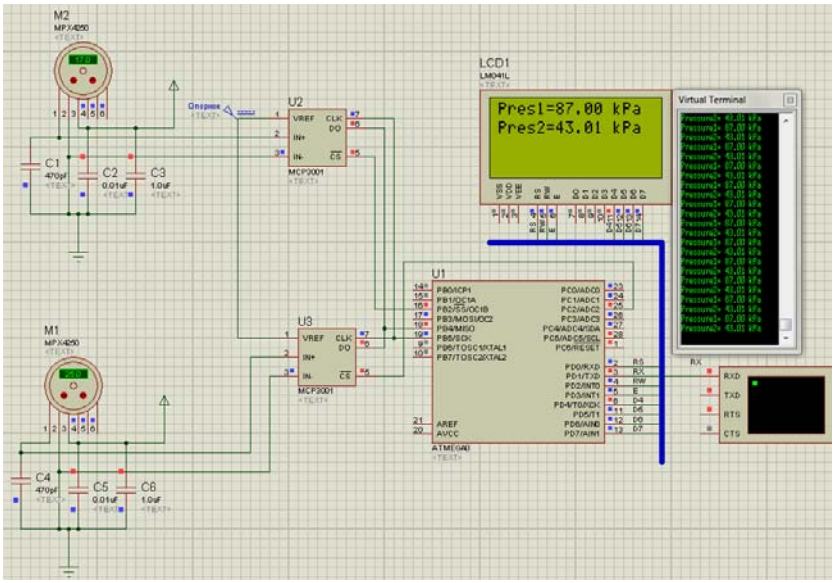


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная в *Proteus*

Список литературы

1. *Заболотских, В. И.* Микропроцессорные регистрирующие устройства ударных процессов с обработкой сигналов в реальном масштабе времени : депонированная рукопись № 16-В99 / В. И. Заболотских, В. И. Вахрушев. – 12.01.1999. – 29 с.

2. *Котляревский, В. А.* Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий : учеб. пособие : в 5 кн. / В. А. Котляревский, А. М. Аверченко, В. И. Заболотских ; под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. – Кн. 5. – М., 2001. – С. 122–136.

3. *Порсев, Я. А.* Выбор функционального состава портативного измерительно-регистрирующего средства однократных ударных процессов / Я. А. Порсев, В. И. Заболотских // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании : сб. тр. регион. науч.-техн. оч.-заоч. конф. (Ижевск, 24 мая 2014 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 292–295.

4. *Кондауров, М. Н.* Цифровые сигнальные процессоры / М. Н. Кондауров, Д. П. Суханов. – Новосибирск : Изд-во НГУ, 2010. – 47 с.

5. *Лебедев, М. Б.* CodeVisionAVR : пособие для начинающих. – М. : Изд-во «Додека XXI», 2008. – 592 с.

УДК 621.316

А. Л. Пушин, магистрант
В. А. Морозов, канд. тех. наук, доцент
E-mail: pushin-aleksandr@yandex.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Разработка лабораторного стенда для исследования блока управления привода вакуумного выключателя

Наряду со знанием теории будущему специалисту необходимо иметь определённые практические навыки, которые в процессе обучения в высшем учебном заведении достигаются путём выполнения курса лабораторных работ.

Выполнение лабораторных работ способствует закреплению теоретических знаний и показывает их практическую значимость. В процессе выполнения лабораторных работ учащиеся приобретают опыт проведения экспериментов, практические навыки сборки электрических схем, умение пользоваться электрическими машинами, аппаратами и приборами, применяемыми на практике. Выполняя работы, студенты производят измерения и расчёты, анализируют результаты экспериментов, учатся делать правильные выводы. Поэтому лабораторные стенды играют важную роль в процессе обучения будущих специалистов.

Целью данной работы является разработка лабораторного стенда для исследования блока управления привода вакуумного выключателя.

Решаемые задачи:

– изучить используемый блок управления привода вакуумным выключателем, выяснить назначение и работу его входов и выходов;

– разработать принципиальную электрическую схему лабораторного стенда, которая позволяла бы реализовать все функции блока управления;

– собрать действующий прототип лабораторного стенда и проверить его работоспособность управления приводом вакуумного выключателя.

Лабораторный стенд предназначен для изучения принципа действия и эксплуатации современного блока управления привода вакуумного выключателя. В работе используется блок управления БУ/TEL-X/X-12-03A, вакуумный выключатель ВВ/TEL-10, а также органы управления и индикации.

Назначение блока управления БУ/TEL-X/X-12-XXA привода вакуумным выключателем ВВ/TEL по основным функциям аналогично на-

© Пушин А. Л., Морозов В. А., 2015

значению приводов традиционных выключателей: управление коммутационным модулем путём подачи на его электромагниты управления порции электрической энергии, а также взаимодействие с релейной защитой и автоматикой [1]. В отличие от традиционных приводов, блоки управления представляют собой электронные устройства нового поколения, позволяющие с высокой точностью поддерживать режимы управления коммутационным модулем, обеспечивая тем самым оптимальные условия для его работы. При выполнении операций Вкл./Откл. на катушки электромагнитных приводов выключателя разряжаются предварительно заряженные конденсаторы блоков управления. Таким образом, обеспечивается строгое дозирование электрической энергии, что позволяет снизить совокупное разрушительное воздействие на контактную систему вакуумных дугогасящих камер электроэрозионных, тепловых и механических факторов, что, в свою очередь, способствует повышению коммутационного и механического ресурса всего вакуумного выключателя [2, 3].

Устройство и работа лабораторного стенда

Лабораторный стенд включает: блок управления БУ/TEL-X/X-12-03A, вакуумный выключатель ВВ/TEL-10, ключи управления, кнопки управления, светоиндикаторы. Оперативное питание: 220 В переменного напряжения.

На схеме показана возможность выполнения операций включения выключателя с использованием входов «Включение и Контроль» и «Включение СК» и отключения с использованием входа «Отключение и Контроль», «Отключение СК» и «Откл. НИ И Контроль». При отключении выключателя по входу «Откл. НИ и Контроль» независимым источником является сетевое напряжение 220 В.

Светоиндикаторы HL1 и HL2 показывают состояние выключателя (Вкл./Откл.) и состояния входов «Включение и Контроль» и «Отключение и Контроль» (открытое/закрытое). При отключённом выключателе HL1 светится зелёным (HL2 погашен), показывая, что вход «Включение и Контроль» находится в открытом состоянии и готов принять команду на включение выключателя. При включённом выключателе HL2 светится красным (HL2 погашен), показывая, что вход «Отключение и Контроль» находится в открытом состоянии и готов принять команду на отключение выключателя.

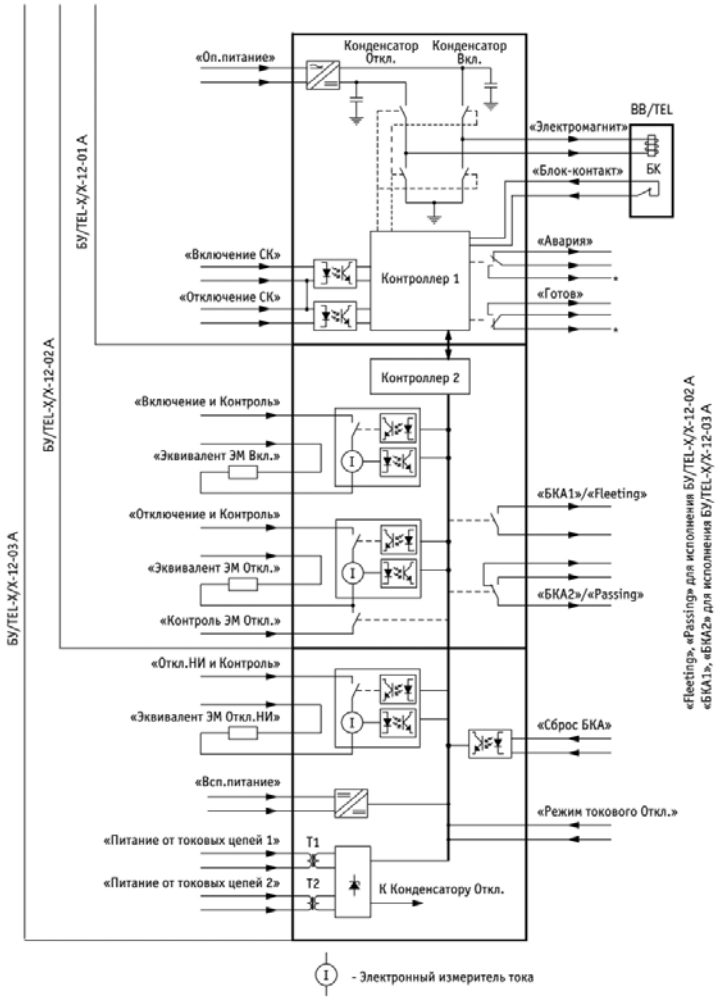


Рис. 1. Функциональная схема для всего номенклатурного ряда БУ/TEL-X/X-12-XXA с указанием входных и выходных цепей

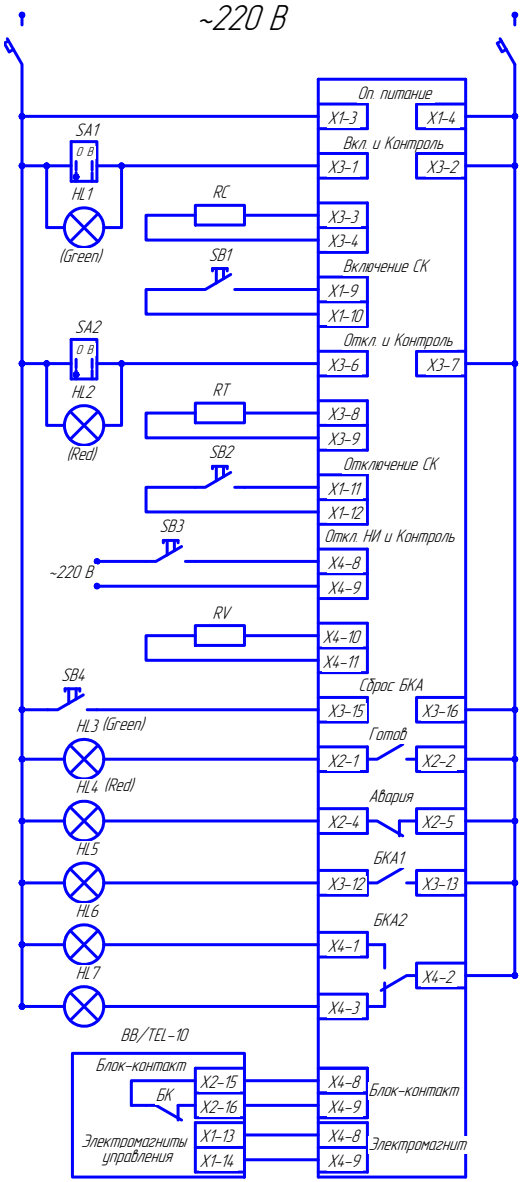


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда

Стенд позволяет продемонстрировать следующие функции БУ/TEL:

– управление коммутационным модулем;

– блокировку повторных включений;

– блокировку включения выключателя при наличии команды отключения;

– сигнализацию внешних неисправностей цепей управления и внутренних неисправностей с идентификацией вида неисправности;

– сигнализацию аварийного отключения выключателя (только в БУ/TEL-X/X-12-03A);

– отключение выключателя от независимого источника питания.

Цепи сигнализации выполнены с помощью светоиндикаторов, которые отображают различные состояния контактов «Готов», «Авария», БКА1, БКА2.

Список литературы

1. ТШАГ 468332.034 РЭ. Блок управления БУ/TEL 12A для коммутационных модулей серии ISM. Руководство по эксплуатации. – Изменение 4. – Таврида Электрик.

2. *Бессонов, Л. А.* Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. – М. : Высш. шк., 1996. – 528 с.

3. Электрические и электронные аппараты : учеб. для вузов / под ред. Ю. К. Розанова. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Информэлектро, 2001. – 420 с. ; ил.

УДК 621.372.632

А. Р. Хасанов, магистрант
E-mail: hasanov_andrei@mail.ru
В. А. Стародубцева, канд. тех. наук, профессор
E-mail: starodubceva_v_a@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Анализ исследований влияния частотного преобразователя на питающую сеть

С переходом на рыночную экономику вопросы энерго- и ресурсосбережения во всех сферах промышленности и коммунального хозяйства России приобрели особую важность. Применяемые электроприводы потребляют 65 % всей вырабатываемой в стране электроэнергии. Рост тарифов вынуждает искать пути сокращения расходов на электроэнер-

© Хасанов А. Р., Стародубцева В. А., 2015

гию. Одним из решений этой проблемы стало использование частотных преобразователей.

Качество электрической энергии [1] зависит от времени и меняется в течение суток, климата, погоды, изменения нагрузки энергосистемы, возникновения аварийных режимов в сети и т. д. Снижение качества электрической энергии порой приводит к некоторым изменениям режимов работы электрических приёмников и, как следствие, – к снижению производительности рабочих механизмов, снижению качества продукции, сокращению срока службы электрооборудования, увеличению возможности аварий. В действительности поддержание показателей качества в заданных пределах наилучшим образом обеспечивается автоматическим регулированием напряжения и автоматическим регулированием частоты.

Качественные показатели электрической энергии – это совокупность свойств энергии электрического тока, определяющих работу электрических приёмников (нагревательных установок, осветительных приборов, электродвигателей и др.). Эти показатели могут меняться в зависимости от погодных и климатических условий времени суток, изменения нагрузки энергосистемы. Снижение качества электрической энергии приводит к изменению режимов работы электрических приёмников и в результате – к снижению производительности рабочих механизмов, качества продукции, сокращению срока службы электрооборудования.

Анализ влияния частотного преобразователя на питающую сеть выполнен на основании работ А. Ю. Чумаченко [2] и Р. Р. Кутьянова [3] Первое исследование было проведено С. В. Федоровой и А. Ю. Чумаченко. Для проведения измерений применялся анализатор качества электрической энергии *Fluke 434*. В роли нагрузки выступал стенд, состоящий из двух преобразователей частоты FC-301 фирмы *Danfoss* и двух центробежных насосов *Grundfos* номинальной мощностью 0,37 кВт каждый. На рис. 1 приведены осциллограммы тока и напряжения для каждой фазы в кабеле, питающем стенд с включенными преобразователями частоты, сравниваемые с опорной синусоидой. В блоке данных кривой тока и напряжения фиксируются единицы измерения сигнала, дата и время измерений, цена деления и точки начала отсчета по осям X и Y.

Из рис. 1 видно, что график мгновенных значений тока значительно отличается от формы синусоиды. Это говорит о том, что перед нами нелинейный потребитель электроэнергии.

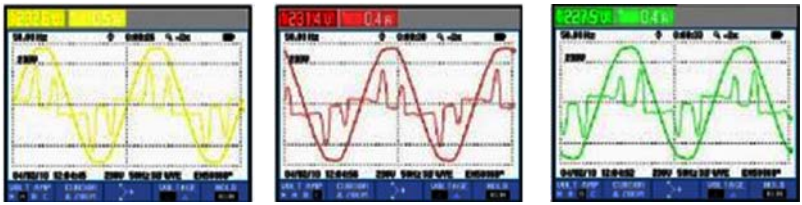


Рис. 1. Осциллограммы тока и напряжения для А, В и С фаз.

Вторая работа была посвящена исследованию влияния работы частотно-регулируемого электропривода на качество электрической энергии, проведённому Р. Р. Кутьяновым и А. А. Мартыновым в именной лаборатории «Ново-Салаватская ТЭЦ» филиала УГНТУ в г. Салавате, была создана физическая модель, главной составляющей которой являлся частотный преобразователь. На рис. 2 показаны значения коэффициентов гармоник при активной нагрузке.

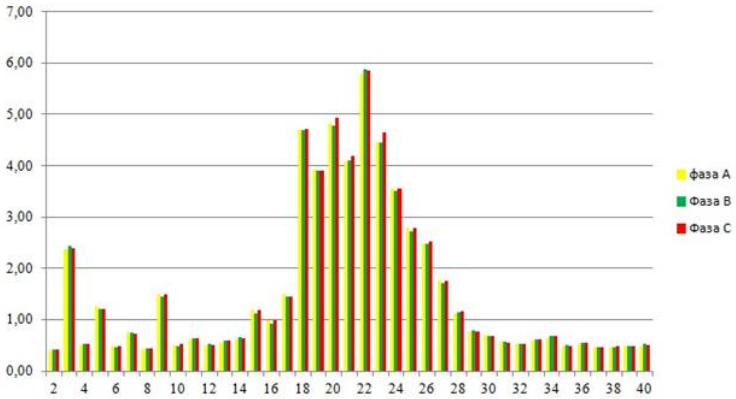


Рис. 2. Значения коэффициентов с первой по сороковую гармоническую составляющую напряжения при активной нагрузке на частоте 50 Гц

По полученным результатам можно сказать, что минимальные искажения проявляются при работе электродвигателя в режиме холостого хода, а при индуктивной нагрузке проявляются наибольшие отклонения. При работе частотного привода на низких частотах получены наибольшие значения коэффициентов высших гармоник. Объяснить это можно тем, что при снижении частоты вращения ротора асинхронного короткозамкнутого двигателя нельзя создать масляный слой между движущи-

мися элементами и поверхностью качения. Это способствует протеканию электрического тока между шариками и несущими кольцами подшипника.

Высокие значения коэффициентов высших гармоник при работе под нагрузкой объясняются еще тем, что в физической модели имеется трансформатор.

Работа частотного преобразователя сопровождается генерированием высших гармоник тока и напряжения, которые влияют на работу трансформатора, повышая в нём потери. Отдельно рассмотрим электромагнитную совместимость частотных преобразователей. Это, с одной стороны, защита преобразователей частоты от внешних электромагнитных помех, а с другой – ограничение величины этих же помех, которые создаёт преобразователь.

Применение частотных преобразователей даёт определённый экономический эффект:

– экономия электрической энергии в вентиляторных, насосных, компрессорных и др. агрегатах до пятидесяти процентов путем поддержания электрического двигателя в режиме оптимального КПД;

– увеличение объема и качества выпускаемой продукции, а также производительности оборудования;

– снижение износа механических элементов и продление срока службы оборудования и коммутационной аппаратуры в результате улучшения динамики работы электропривода.

Однако, являясь нелинейными приёмниками, ПЧ оказывают высокое влияние на питающую сеть в основном из-за генерирования высоких гармонических составляющих напряжений и токов. Учитывая высокую степень внедрения преобразователей частоты на производстве, необходимо проводить мероприятия по снижению отрицательного влияния этих устройств на качественные показатели питающей сети. Рекомендацией по снижению этого негативного эффекта является применение различного рода фильтров и дросселей (рис. 3 и 4) [4].

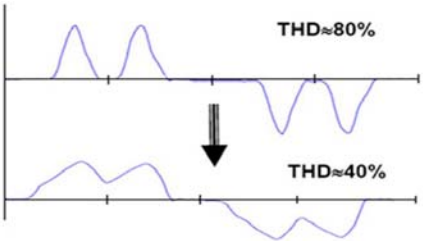
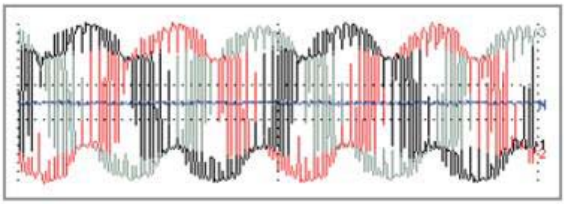
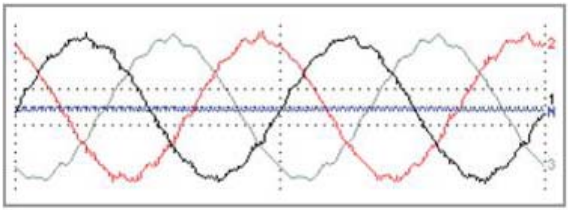


Рис. 3. Уровень THD при установке сетевого дросселя



а



б

Рис. 4. Форма напряжения на выходе преобразователя частоты:
а – без sin-фильтра; *б* – при включении sin-фильтра

Перспективным на сегодняшний день является применение широтно-импульсной модуляции и матричных преобразователей особенно в тех случаях, когда необходим режим рекуперации энергии в питающую сеть и предъявляются повышенные требования к качеству энергии [5].

Список литературы

1. ГОСТ 13109–97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения // Актуальное законодательство. – URL: http://www.internet-law.ru/gosts/gost/3761/ (дата обращения: 20.05.2015).
2. *Федорова, С. В*. Влияние частотных преобразователей на электрическую сеть / С. В. Федорова, А. Ю. Чумаченко // Энергоэффективность и энергобезопасность на предприятиях промышленности и жилищно-коммунального хозяйства : тр. Всерос. науч.-практ. сем. (24–25 марта 2010 г., Салават). – Уфа : АН РБ, Гилем, 2010.
3. *Кутьянов, Р. Р.* Влияние работы приёмников электроэнергии с нелинейной вольтамперной характеристикой на генерацию высших гармоник / Р. Р. Кутьянов, А. А. Мартынов // НаучФорум. – URL: http://www.nauchforum.ru/ru/node/1890 (дата обращения: 20.05.2015).
4. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ / О. Григорьев [и др.] // Новости электротехники. – 2002. – № 6.
5. Качество электрической энергии. – М. : ЗАО «Энергосервис», 2000. – 80 с.

УДК 62.1.771.06

Р. И. Хасанов, магистрант
E-mail: hasrin93@yandex.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование удельного потребления электрической энергии прокатного стана 250 с целью составления прогнозов для работы на оптовом рынке электроэнергии

Производство металла отличается высокой степенью электроёмкости, потому как электроэнергия в итоговой себестоимости продукции составляет 11–30 %. Для предприятий выход на оптовый рынок электроэнергии является основным путём для снижения затрат, позволяя закупать электроэнергию по ценам, гораздо ниже установившихся розничных, применяя организационно-технические мероприятия, не обладающие столь значимыми затратами [1]. Однако также существуют и другие мероприятия, направленные на уменьшение электропотребления, но они в основном энергосберегающие, требуют инвестиций и большой срок окупаемости.

Для участников оптового рынка электроэнергии предполагается подача администратору торговой системы почасовых заявок относительно времени производства с предупреждением в соответствии с регламентом региона. В течение суток, предшествующих операционным, осуществляется отбор заявок на сутки вперёд. Из мощности, потреблённой в операционные сутки, выделяются части, соответствующие договору и заявленным значениям почасового потребления. Остаток электроэнергии может быть приобретён или продан на балансирующем рынке, цены на котором многократно превышают цены на РСВ, что сказывается на ужесточении требований к точности прогнозирования нагрузки. При подаче ошибочных заявок все преимущества от участия в ОРЭ могут быть потеряны [1].

График нагрузки на каждом предприятии образуется благодаря многим факторам, полный учет которых невозможен из-за техноценологических особенностей предприятия. Вдобавок, всегда существуют отклонения от запланированного режима производства, заставляя заниматься не только планированием, а также и прогнозированием электропотребления.

Таким образом, в современных условиях энергорынка для крупных предприятий огромное значение имеют системы почасового потребле-

© Хасанов Р. И., 2015

ния электроэнергии в производственные сутки, позволяющие свести к минимуму отклонения потребляемой от заявленной на сутки вперед мощности.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов основываются на анализе статистики, полученной по данным автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии металлургического предприятия ОАО «Ижсталь» в течение последнего квартала 2013 г. получасовым интервалом осреднения и сопоставления полученных результатов прогнозирования с экспериментальными данными.

Полученные данные были обработаны и преобразованы в более информативно емкую, удобную для восприятия и дальнейшего изучения таблицу. Для этих целей использовались следующие формулы:

$$P = \sum_{i=1}^{n} P_i, \ [\text{кВт}],$$

где P – мощность потребляемая за один прокат; n – количество получасовых мощностей за один прокат.

Определение почасового потребления электроэнергии [2]:

$$W_{\text{эн}} = P/2, \ [\text{кВт·ч}].$$

Удельное потребление энергии – это количество израсходованной энергии на прокат одной тонны продукции:

$$Q = \frac{W_{\text{эн}}}{m_{\text{проката}}}, \ [\text{кВт} \cdot \text{ч/т}].$$

Средние значения потребляемой мощности и потребляемой энергии:

$$P_{\text{ср}} = \sum\nolimits_{i=1}^{n} P_{\text{сп}} / n, \ [\text{кВт}],$$

где $P_{\text{сп}}$ – мощность потребленная за один прокат определенной марки стали и определенной формы; n – количество прокатов одной марки стали и формы.

$$W_{\text{ср}} = \sum\nolimits_{i=1}^{n} W_{\text{сп}} / n, \ [\text{кВт} \cdot \text{ч}],$$

где $W_{\text{сп}}$ – количество электроэнергии, израсходованной за один прокат.

Все виды прокатов, на прокат которых расходуется приблизительно одинаковое количество электроэнергии, объединяются в отдельные группы с целью повышения удобства дальнейшего составления прогноза [3].

Для обеспечения достоверности прогнозирования были выбраны те факторы, вклад которых в электропотребление является значительным, а

совокупность этих факторов представляет собой репрезентативную выборку.

Таблица 1. **Усредненные значения мощностей по группам**

№ группы	Профиль проката	Удельное потребление энергии (МВт·ч/т)
1	КР 50,48,46,45,42,40,38, ШГ 38,41	68,33816
2	КР 36,35,34,33,32,30, КВ 30	72,94842
3	КР 28,27,26,25,24,23,21, ШГ 22,24,27, КВ 25	77,55867
4	# 6x110 – 20x50	88,93963
5	КР 20,18,17,16, ШГ19,20, КВ16,20	90,38992
6	КР 15,14,13, КВ14	104,3405
7	КР 12,11,10,9, ШГ12	126,7162
8	# 4x40 – 6x100	131,2451
9	КР 8,7	134,9063

Список литературы

1. *Родыгина, С. В.* Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки : дис. … канд. техн. наук. – Новосибирск, 2010.

2. *Кудрин, Б. И.* Электроснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов . – 2-е изд. – М. : Интермет Инжиниринг, 2006.

3. *Целиков, А. И.* Прокатные станы : учеб. для вузов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Металлургиздат, 1958.

УДК 621.317.7

А. П. Хохряков, магистрант
E-mail: sasha.hohryakov@gmail.com
ИжГТУ имени М.Т. Калашникова

Модернизация автоматизированной системы контроля монтажа кабельных изделий

В настоящее время кабельная промышленность является одной из важнейших отраслей народного хозяйства. Номенклатура и ассортимент кабельных изделий очень широки, а спрос на них достаточно высок. Одним из основных критериев оценки качества кабельных изделий является их надежность, поэтому чем надежнее и качественнее кабельное изделие, тем спрос на него выше. Качество кабельных изделий определяется согласно стандартам, техническим условиям. Для осуществления контроля за различными параметрами кабельных изделий используется большое количество приборов и устройств контроля. Как правило, эти приборы и устройства не взаимодействуют друг с другом, нет возможности обмена информацией с компьютером. Результаты проверки также представляются каждым прибором по-разному. Поэтому при оценке состояния кабельных изделий актуальной является задача комплексного анализа ее результатов.

Одним из предприятий, на котором разрабатываются и выпускаются системы контроля монтажа кабельных изделий, является ОАО «Ижевский мотозавод «Аксион-холдинг» [1]. В представленной работе рассмотрены вопросы модернизации автоматизированной системы контроля монтажа кабельных изделий (АСК-МКИ), предназначенной для измерения электрических параметров кабельных изделий, печатных плат, контроля функционирования релейно-коммутационных устройств и проведения испытаний изделий по программам контроля с выводом на экран монитора его результатов [2]. На рис. 1. предложена структурная схема модернизированной автоматизированной системы контроля монтажа кабельных изделий, которая состоит из тестера кабельных изделий (ТКИ), секции контроля и управления (СКУ), программируемого пробойного устройства (ППУ), коммутационного устройства (КУ), блока питания (БП), ПЭВМ и средств ее сопряжения со всеми блоками системы.

© Хохряков А. П., 2015

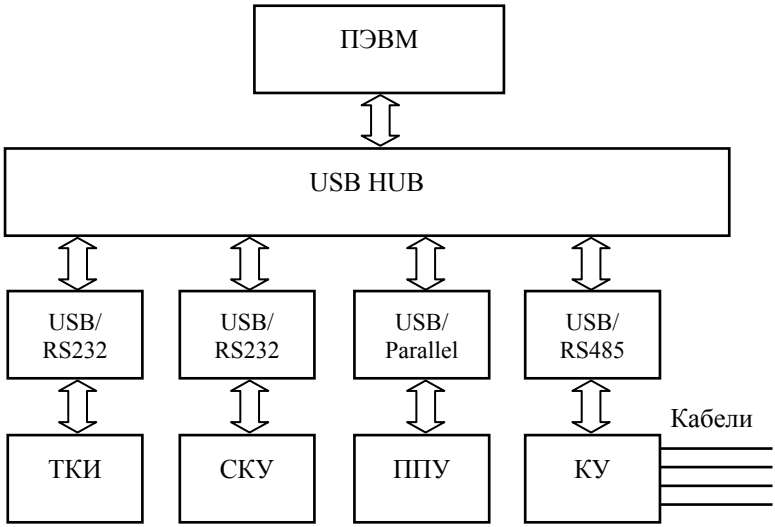


Рис. 1. Структурная схема АСК-МКИ

Тестер кабельных изделий ТКИ – это устройство, управляемое ПЭВМ, предназначенное для работы в составе системы АСК-МКИ и осуществляющее контроль, измерения и испытания электрических параметров кабелей. ТКИ принимает директивную информацию из ПЭВМ и формирует сигналы управления собственными функциональными устройствами и коммутационными стойками. ТКИ формирует и передает результаты контроля, измерений и испытаний в управляющую ПЭВМ. ТКИ выполнен в виде стойки, содержащей выдвижные секции и блоки. Стойка имеет каркасную конструкцию из алюминиевых профилей с задней открывающейся дверью. Управление ТКИ осуществляется программно. Структура информационного канала ТКИ, связывающего регистры всех программируемых устройств с контроллером, представляет собой совокупность общей для всех регистров 16-разрядной шины данных, общих линий «Ввод» и «Вывод» и индивидуальных для каждого регистра линий адреса. Секция контроля и управления СКУ – это многофункциональное устройство. Платы, входящие в состав СКУ, обеспечивают обмен информацией между ПЭВМ и измерителями, формирование и передачу управляющих сигналов к функциональным устройствам АСК-МКИ, контроль сопротивления изоляции, коммутацию входов измерителей к измерительным шинам. Контроллер связи с компьютером обеспечивает обмен информацией с ПЭВМ по интерфейсу RS232. В его составе имеется однокристальный микроконтроллер, который содержит

встроенный приёмопередатчик последовательного обмена. Работа микроконтроллера осуществляется под управлением программы, записанной в памяти микроконтроллера. Программируемое пробойное устройство ППУ предназначено для испытания электрической прочности изоляции кабелей. Секция ППУ состоит из каркаса и входящих в него унифицированных по конструкции функциональных модулей (плат) и блоков. Каркас секции с обеих сторон снабжен ручками для удобства установки (извлечения) секции в каркас стойки. Плата управления ПУ содержит регистр режимов ППУ и формирует сигналы управления блоком реле и блоком испытательного напряжения. Коммутационное устройство КУ работает под управлением СКУ и предназначено для создания электрических связей между кабелями и измерительными, испытательными устройствами, источниками стимулирующих воздействий. Следует отметить, что блок питания АСК-МКИ, обеспечивающий электропитание плат и блоков ТКИ, состоит из трехфазного выпрямителя с постоянным напряжением на выходе 24 В, унифицированных источников стабилизированных напряжений, платы включения и платы аварийной сигнализации. Он выполнен в том же конструктиве, что и секции, и отличается от них использованием более толстых боковых стенок каркаса и наличием шасси в задней части блока. На шасси установлены силовой трехфазный трансформатор и выпрямительные диоды на радиаторах.

В исходной системе контроля монтажа кабельных изделий для связи составляющих ее блоков с ЭВМ были использованы последовательные COM-порты. В модернизированной системе используется современный USB-концентратор с 10 портами. Для подключения устройств АСК-МКИ к USB-концентратору используются преобразователи. Поскольку тестер кабельных изделий и секция контроля и управления передают данные по интерфейсу RS232, то применен преобразователь USB/RS232. Программируемое пробойное устройство отправляет данные по параллельному интерфейсу, поэтому для его подключения применен преобразователь USB/параллельный интерфейс DLP-USB245M. Стойка коммутации связана с ПЭВМ при помощи интерфейса RS485, поэтому использован преобразователь USB/RS485.

Таким образом, в результате модернизации АСК-МКИ была доработана структурная схема системы, введены современная ПЭВМ, USB-концентратор и преобразователи для связи отдельных блоков с ПЭВМ, разработано программное обеспечение. Результаты испытаний показали, что модернизированная система обладает повышенным быстродействием, расширенными функциональными возможностями, улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Список литературы

1. ОАО «Ижевский мотозавод «Аксион-холдинг» офиц. сайт. – URL: http://www.axion.ru/products

2. Автоматизированная система контроля монтажа кабельных изделий: руководство по эксплуатации БИ1.409.011 РЭ. – Ижевск. – 79 с.

УДК 621.384

И. В. Штенников, канд. техн. наук, доцент
Т. С. Попов, магистрант
E-mail: bass-tymon@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Устройство бесконтактного контроля температуры резистивного испарителя

В настоящее время наряду с контактными средствами измерения широкое применение в промышленности находят средства бесконтактного измерения температуры – пирометры и тепловизоры.

Пирометром называют прибор, который измеряет температуру по тепловому электромагнитному излучению и предоставляет информацию в форме, удобной для пользователя. По принципу действия пирометры разделяют на три группы: яркостные, радиационные и цветовые. Яркостные пирометры позволяют визуально определять температуру тела путём сравнения его цвета с цветом эталонной нити. Радиационные пирометры оценивают температуру посредством пересчитанного показателя мощности теплового излучения. Если пирометр измеряет в широкой полосе спектрального излучения, то такой пирометр называется пирометром полного излучения. Цветовые пирометры или пирометры спектрального отношения, позволяют делать вывод о температуре объекта, основываясь на результатах сравнения его теплового излучения в различных частях спектра.

Применение бесконтактных средств измерений позволяет производить измерения температуры движущихся объектов; объектов, расположенных в труднодоступных местах; избегать повреждений средства измерения при контроле высоких температур; предотвращать возможные загрязнения и повреждения измеряемого объекта, при измерении температуры объекта, целостность или стерильность которого нельзя нарушать. В случае когда необходимо измерить температуру микроско-

© Штенников И. В., 2015

пических объектов, теплоемкость которых мала, бесконтакный способ измерения позволяет избежать искажений температуры объекта, вносимых контактным средством. Существует ряд технологических процессов, когда применение контактных датчиков невозможно, в таких случаях примененяют пирометры [1].

Специфика применения пирометра *4* в установках вакуумного напыления заключается в необходимости контроля температуры испарителя *2* (рис. 1), находящегося в камере вакуумной установки *1*. Контроль температуры производится через смотровое окно *3*. Однако в процессе формирования покрытия поток испаряемого вещества, конденсируясь на смотровом окне, изменяет его оптические свойства, что вносит существенную погрешность в результаты контроля температуры испарителя.

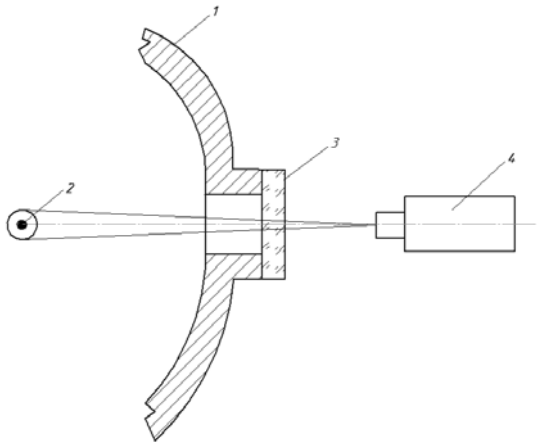


Рис. 1. Схема установки

В работе [2] представлено устройство для бесконтактного контроля температуры испарителя в вакуумных установках (рис. 2). Оно содержит нагреваемый испаритель (излучатель) *2*, отражатель *5*, с нанесенным на его отражающую поверхность покрытием из испаряемого материала, смотровое окно *3* в вакуумной установке *1*, пирометр излучения *4* и защитный экран *6*.

В вакуумной установке *1* излучение испарителя *2* вместе с потоком испаряемого материала попадает на отражающую поверхность отражателя *5*, на который нанесен слой испаряемого материала. Отразившееся излучение испарителя через смотровое окно *3* поступает в пирометр *4*

излучения, а поток испаряемого материала осаждается на отражающей поверхности отражателя *5*, не изменяя его оптических свойств, т. к. его отражающая поверхность выполнена из испаряемого материала. Защитный экран *6* предотвращает изменение оптических характеристик смотрового окна и пирометра излучения в целом.

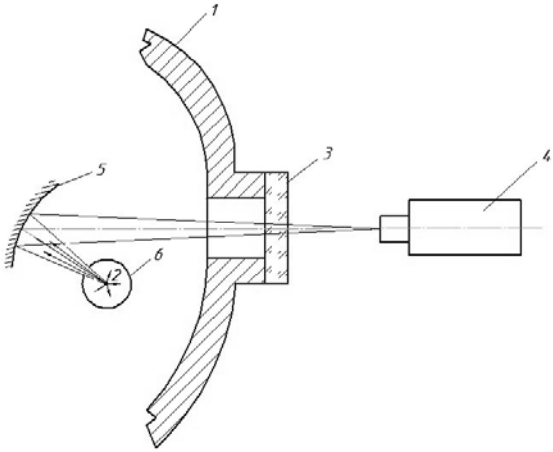


Рис. 2. Схема установки с использованием экрана

В качестве пирометра для данной установки выбран пирометр «Термоскоп-600-2С», производства ООО «Инфратест». Это пирометр спектрального отношения, специально спроектированный для применения в сложных производственных условиях. Принцип спектрального отношения позволяет исключить многие негативные факторы, которые снижают точность измерения температуры традиционными пирометрами, например, нестабильность излучательной способности объекта, наличие пыли в атмосфере и экранирующих элементов в поле обзора. Данный пирометр обладает следующими характеристиками, приведенными в таблице [3].

Характеристики пирометра «Термоскоп-600-2С»

Температурный диапазон	1000–2000 °С
Быстродействие	50 мс
Выходы	Аналоговый, цифровой RS-485
Погрешность	0,75 %

Список литературы

1. Пирометры, ИК-термометры // ЗАО Промприбор. – URL: http://pp66.ru/katalog/pribori3/pirometry/
2. Устройство для бесконтактного контроля температуры испарителя в вакуумных установках : а. с. № 323672 СССР: кл. G 01 J 5/00, 1972 / О. И. Шаврин, В. И. Сидоренко, И. В. Штенников.
3. Оптоволоконный стационарный инфракрасный пирометр «Термоскоп-600-2С // ИНФРАТЕСТ. – URL: http://www.infratest.ru/index/ru/product/fixed/16.html

УДК 621.382.2

И. В. Штенников, канд. тех. наук, доцент
Д. П. Четкарёв, магистрант
E-mail: Diniska.91@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Разработка источника питания резистивного испарителя

В настоящее время на предприятиях микроэлектронной промышленности применяется нанесение тонких диэлектрических и металлических пленок и покрытий на различные поверхности. Тонкие пленки широко используются в качестве светоотражающих, упрочняющих, проводящих и диэлектрических покрытий. Чаще всего данные виды работ проводятся в НИИ для исследования и получения новых перспективных материалов как для микроэлектронной промышленности, так и для устройств наноэлектроники [1].

Процесс получения плёнок и покрытий методом испарения и конденсации в вакууме состоит из двух этапов: испарения вещества в вакууме и последующей конденсации его паров на основе. Испарение различных веществ в вакууме, в том числе и металлов, происходит при нагревании до температуры плавления и испарения (сублимации) или при распылении (методы магнетронного и катодного распыления). Металлы можно нагревать резистивным методом (испарители прямонакального и косвенного нагрева), токами высокой частоты, электрической дугой, электронным лучом. Большая часть металлов при нагреве переходит в парообразное состояние через жидкую фазу. Некоторые металлы (Cd, Zn, Mn и Cr) переходят в парообразное состояние из твёрдого, минуя жидкую фазу (сублимируют).

© Штенников И. В.,Четкарёв Д. П., 2015

Резистивным нагревом называют нагрев электропроводящего тела, обладающего высоким электрическим сопротивлением при прохождении через него электрического тока.

К достоинствам резистивного нагрева относят: низкую стоимость оборудования, высокий КПД, безопасность в работе и малые габариты. Применение резистивных испарителей ограничивается некоторыми факторами: вероятностью загрязнения наносимого покрытия материалом нагревателя, а также малый ресурс работы, ввиду разрушения нагревателя, что требует его периодической замены.

Испарители этого типа могут быть с непосредственным или с косвенным нагревом испаряемого вещества.

В испарителях с непосредственным нагревом ток в несколько десятков ампер проходит непосредственно через испаряемый материал. Такой метод испарения может быть применен только для сублимирующихся материалов, т. е. металлов, температура плавления которых выше температуры испарения [2].

Существующая схема источника питания резистивного испарителя приведена на рис. 1. Работа источника питания заключается в управлении углом отпирания симистора *1* с помощью блока управления тиристора (БУТ) *4*, и через понижающий трансформатор *2* ток течет в цепи испарительного элемента (R) *3*. Скорость испарения регулируется вручную, опираясь на показания амперметра, подключенного к трансформатору тока *5* в цепи испарителя.

Основная проблема в методе резистивного испарения заключается в нестабильности тока в цепи испарителя, ввиду нелинейного сопротивления испарителя из-за его сильного разогрева, а также уменьшения поперечного сечения проволочного испарителя, вследствие постоянного испарения материала испарителя.

В результате анализа известных проблем предложен источник питания резистивного испарителя, содержащий звено обратной связи по току от датчика тока к БУТу.

Основные требования, предъявляемые к источнику питания:

1) Выходная мощность: 2000 Вт при входном напряжении 220 В переменного тока.

2) Выходные значения силы тока и напряжения: 400 А при 5 В, 200 А при 10 В

3) Параметры питающей электросети: 180-264 В, 47-56 Гц, 18 А при напряжении 230 В.

4) Непрерывный контроль и регулирование тока в цепи испарителя.

Электрическая схема источника питания с обратной связью приведена на рис. 2.

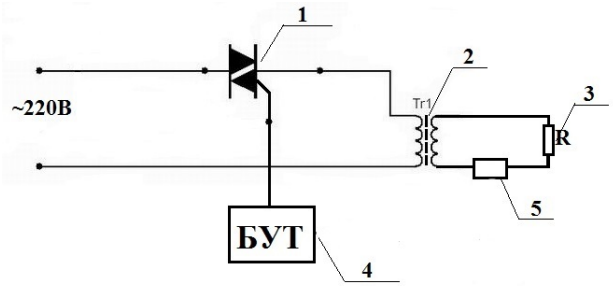


Рис. 1. Электрическая схема источника питания резистивного испарителя

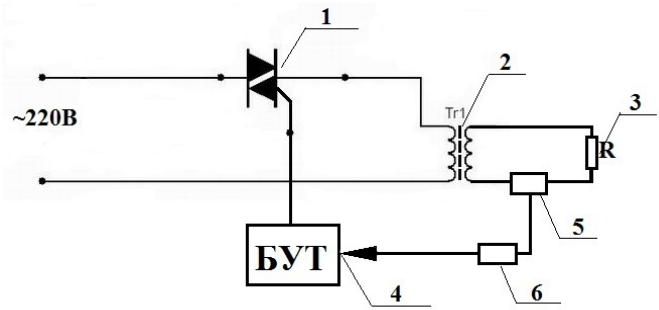


Рис. 2. Электрическая схема источника питания резистивного испарителя со звеном обратной связи

Источник питания резистивного испарителя включает симистор *1*, блок управления тиристором (БУТ) *4*, понижающий трансформатор *2*, обеспечивающий подачу напряжения 5 или 10 В на резистивный испарительный элемент (R) *3*.

Установка для резистивного испарения работает следующим образом. На источник питания подается напряжение 220 В. С помощью блока управления тиристора *4*, снабженного реостатом, на управляющий электрод симистора подается напряжение отпирания. Симистор открывается, и ток протекает в цепи первичной обмотки понижающего трансформатора *2*. В цепи вторичной обмотки через испарительный элемент (R) *3* начинает течь ток. В результате происходит разогрев и испарение вещества испарителя, которое конденсируется на изделие. Ток в цепи испарителя регулируется блоком управления тиристора, на который по-

дается значение действующего тока в цепи испарителя через звено обратной связи *6* от токового датчика (трансформатора тока) *5*, который подает на управляющий электрод симистора напряжение, соответствующее нужной фазе отпирания симистора и, следовательно, требуемой мощности на испаряемом элементе. Изменяя угол отпирания симистора относительно начала полуволны сетевого питающего напряжения можно регулировать потребляемую нагрузкой мощность практически от 0 до 100 %.

Применение данного источника питания, построенного на базе симистора, расширит технологические возможности при нанесении тонких пленок на изделия. При этом сократится время, повысится качество и чистота напыляемого покрытия.

Список литературы

1. *Иванов, А. А.* Технология напыления тонких пленок // Время электроники. – URL: http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2195/doc/49951

2. Описание изобретения к патенту. Установка вакуумного напыления. – URL: http://www.freepatent.ru/images/patents/184/2473147/patent-2473147.pdf

УДК 621.52(045)

Д. С. Щинов, магистрант
И. В. Штенников, канд. техн. наук, доцент
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Моделирование и анализ теплового состояния детали в процессе вакуумного хромирования

Покрытия различного функционального назначения прочно вошли в практику промышленного производства. Постоянное совершенствование выпускаемой продукции, повышение ее технико-экономического уровня, возросшие требования по охране окружающей среды вызывают острую потребность современного производства в совершенствовании существующих и разработке новых прогрессивных экологически чистых методов и технологий нанесения покрытий на рабочие поверхности деталей.

Наибольшие затруднения на практике возникают при нанесении покрытий на внутренние труднодоступные поверхности полых деталей с

© Щинов Д. С., Штенников И. В., 2015

малым диаметром отверстия 7,5–25 мм. Дальнейшее использование для указанных деталей традиционного электролитического хромирования ограничивается высокой токсичностью процесса, для которого характерно применение токсичных исходных материалов, наличие вредных отходов и выбросов, загрязняющих окружающую среду.

Для хромирования полых осесимметричных деталей с узким отверстием предлагается использование вакуумного метода термического испарения путем осаждения покрытия с соосно расположенным в полости детали стержневым резистивным испарителяем (источника материала покрытия).

На базе промышленного вакуумного агрегате УВН-70А-1 разработана экспериментальная установка для нанесения покрытий хрома на полые детали [1]. Схема нанесения покрытия показана на рис. 1.

В процессе формирования покрытия внутренняя поверхность детали подвержена значительному воздействию теплового потока плотностью q, который складывается из теплового излучения ($q_л$) близко расположенного, сильно разогретого испарителя (до 1800 К) и теплоты конденсации (q_k), выделяющейся на поверхности детали при осаждении на ней испаряемого материала.

При испарении хрома из твердой фазы в интервале Ти = 1650–1800 К основной вклад в разогрев покрываемой детали – 85–97 %, вносит тепловое излучение испарителя и всего 3–15 % приходится на разогрев за счет теплоты конденсации.

Для выявления изменения температуры конденсации покрываемой детали численным методом решено уравнение теплопроводности Фурье при нестационарном режиме (1):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r}\left(ar \frac{\partial T}{\partial t} \right). \qquad (1)$$

Для следующих начальных и граничных условий: при t = 0; $T(r,0)$ = $T_{К,0}$ = const:

$$-\lambda \left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=r_0} = q; \qquad -\lambda \left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=R} = q_{Л2}; \qquad (2)$$

где а и λ – коэффициенты температуропроводности и теплопроводности материала детали, соответственно; $T_{К,0}$ – начальная температура конденсации; r_0 и R соответственно, радиусы внутренней и наружной поверхностей полой детали; $q_{Л2}$ – плотность теплового потока излучения с наружной поверхности детали в пространство вакуумной камеры.

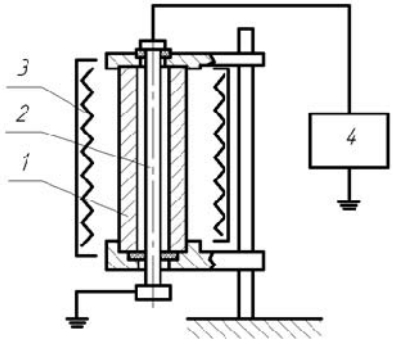


Рис. 1. Схема нанесения покрытия на полые детали: *1* – деталь; *2* – испаритель; *3* – нагреватель; *4* – источник тока

Экспериментальные исследования температуры внутренней поверхности втулок во время осаждения хромового покрытия показали правильность тепловой модели и найденного решения для расчета температурного состояния покрываемой детали при нанесении покрытия. По величине перегрева ($\Delta T = T - T_{K,0}$) разница между расчетом и экспериментом не превысила 15 %.

На практике, как правило, материал детали характеризуется некоторой максимально допустимой температурой разогрева, превышение которой не допустимо, т. к. может вызвать нежелательное изменение физико-химических и механических свойств материала детали. Повышение температуры в процессе вакуумного хромирования приводит к уменьшению твердости конденсатов хрома [2, 3] и к возможному разупрочнению покрываемой детали.

Использовав программу расчета, промоделировано тепловое состояние детали в процессе вакуумного хромирования трубчатых деталей с внутренним диаметром отверстия 10 мм и наружным диаметром 30 мм. Моделирование проводилось для следующих условий осаждения покрытия: температура нагревателя 600 и 300 К, диаметр нагревателя, охватывающий деталь, 80 и 32 мм, начальная температура конденсации 750 К, температура испарителя 1670, 1730, 1790 К и время нанесения соответственно 20, 8 и 4 мин.

На рис. 2 представлены зависимости изменения температуры детали в процессе осаждения хромового покрытия при диаметре нагревателя 80 мм и его температуре 300 и 600 К.

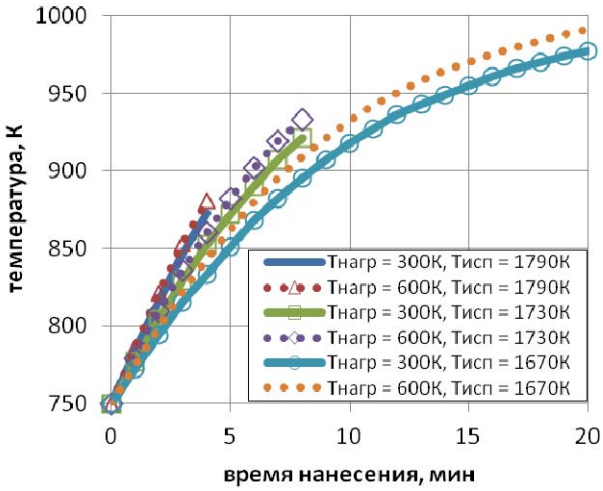


Рис. 2. Температура детали в процессе осаждения хромового покрытия (диаметр нагревателя 80 мм)

В табл. 1 приведены значения перегрева детали на момент окончания процесса осаждения хромового покрытия относительно значения температуры начальной конденсации – 750 К при диаметре нагревателя 80 мм.

Таблица 1. **Значение перегрева детали от первоначального значения $T_{К.О}$ (диаметр нагревателя 80 мм)**

Тнагр, К	Значение перегрева детали, К		
	$t_{нан}$ = 4 мин, $T_{исп}$ = 1790 К	$t_{нан}$ = 8 мин, $T_{исп}$ = 1730 К	$t_{нан}$ = 20 мин, $T_{исп}$ = 1670 К
300	120	170	230
600	130	180	240

Таким образом, снижение температуры нагревателя с 600 до 300 К при диаметре нагревателя 80 мм приводит к уменьшению значения перегрева детали примерно на 10 К независимо от $t_{нан}$ и $T_{нагр}$.

На рис. 3 приведены зависимости изменения температуры детали в процессе осаждения хромового покрытия при диаметре нагревателя 32 мм и его температуре 300 и 600 К.

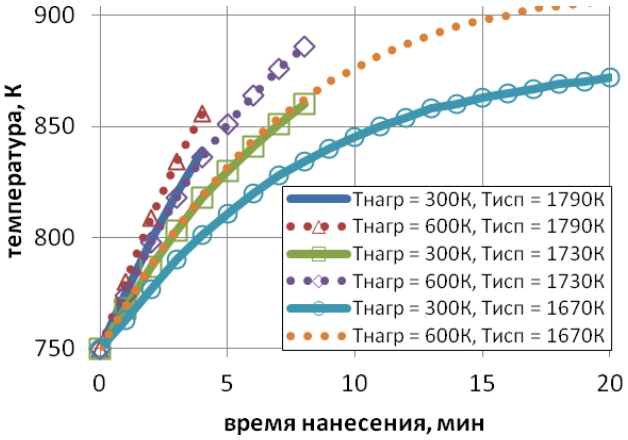


Рис. 3. Температура детали в процессе осаждения хромового покрытия (диаметр нагревателя 32 мм)

В табл. 2 приведены значения перегрева детали на момент окончания процесса осаждения хромового покрытия относительно значения температуры начальной конденсации – 750К при диаметре нагревателя 32 мм.

Таблица 2. **Значение перегрева детали от первоначального значения $T_{к.о}$(диаметр нагревателя 32 мм)**

Тн, К	Значение перегрева детали, К		
	$t_{нан}$ = 4 мин, $T_{исп}$ = 1790 К	$t_{нан}$ = 8 мин, $T_{исп}$ = 1730 К	$t_{нан}$ = 20 мин, $T_{исп}$ = 1670 К
300	90	110	120
600	105	140	160

Снижение температуры нагревателя с 600 до 300 К при диаметре нагревателя 32 мм дает более значимые результаты: 25, 30, 40 К при $t_{нан}$ 4, 8 и 20 мин соответственно.

Сравнивая результаты моделирования, приведенные в табл. 1 и 2, можно видеть, что с уменьшением температуры нагревателя с 600 до 300 К и уменьшением его диаметра с 80 до 32 мм перегрев детали снижается: при $t_{нан}$ = 4 мин, $T_{исп}$ = 1790 К – на 40 К, при $t_{нан}$ = 8 мин, $T_{исп}$ = = 1730 К – на 70 К, при $t_{нан}$ = 20 мин, $T_{исп}$ = 1670 К – на 120 К.

Результаты моделирования дают понять, что для уменьшения перегрева детали в процессе вакуумного хромирования целесообразно

уменьшить диаметр нагревателя (т. е. расстояние между наружной поверхностью детали и нагревателем), а также уменьшить температуру нагревателя во время формировании покрытия.

Список литературы

1. Оборудование для получения покрытий в вакууме на внутренней поверхности полых длинномерных изделий / В. И. Сидоренко [и др.] // Тезисы докладов XI НТК молодых специалистов. – Ижевск : НИТИ, 1988. – С. 36–37.

2. *Мовчан, Б. А*. Жаростойкие покрытия, осаждаемые в вакууме / Б. А. Мовчан, И. С. Малашенко ; под ред. Б. Е. Патона. – Киев : Наук. думка, 1983. – 232 с.

3. *Сидоренко, В. И*. Исследование твердости вакуумных конденсатов хрома / В. И. Сидоренко, И. В. Штенников // Ученые ИжГТУ – производству : тез. докл. НТК. – Ижевск : ИжГТУ, 1994. – Т. 1. – С. 59.

УДК 621.313.32

Д. А. Щур, магистрант
В. А. Стародубцева, канд. техн. наук, профессор
E-mail: starodubceva_v_a@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Влияние положения ротора на режим работы синхронного двигателя под нагрузкой

Для устойчивой работы и возможности регулирования скорости синхронного двигателя необходимо контролировать положение ротора при изменении частоты питающего напряжения и нагрузки на двигатель [1].

Синхронные электродвигатели находят все большее применение в современной промышленности. Это связано с их способностью снижать расходы на электроэнергию и повышать энергоэффективность системы электроснабжения путём коррекции коэффициента мощности самим двигателем [3].

В дополнение к высокой эффективности, за счёт коррекции коэффициента мощности, синхронные двигатели также обеспечивают высокий крутящий момент и постоянную скорость при изменении нагрузки, что приводит к снижению эксплуатационных расходов и расходов на техническое обслуживание [1–3].

Несмотря на экономические преимущества синхронных двигателей, они применялись только для электроприводов, не требующих регулиро-

© Щур Д. А., Стародубцева В. А., 2015

вания скорости вращения (насосы, вентиляторы, компрессоры). Конструкция и принцип действия синхронных двигателей для устойчивой работы и регулирования скорости требует специальной системы управления преобразователем питающим двигатель, эта система управления требует контроля за положением ротора при работе двигателя под нагрузкой.

У синхронных электродвигателей частота вращения ротора равна частоте вращения магнитного поля статора. Вследствие взаимодействия потоков статора и ротора возникает электромагнитный момент, как результат взаимодействия (притяжения) разноимённых полюсов магнитных полей статора и ротора, который заставляет следовать ротор за магнитным полем статора, как говорят, втянуться в синхронизм.

Ротор при этом занимает разные положения по отношению к осям фаз статора, поэтому величина силы сцепления ротора и фазы статора будет не постоянной.

Если нагрузка на двигателе отсутствует, то оси полюсов статора будут совпадать с осями полюсов ротора – ротор находится в положении устойчивого равновесия (рис. 1, *а*). Если же к ротору подключена механическая нагрузка, то оси полюсов статора и ротора могут расходиться на некоторый угол θ, называемый внутренним углом нагрузки (рис. 1, *б*). Однако магнитное сцепление ротора со статором будет продолжаться, и частота вращения ротора будет синхронной с частотой вращения поля статора, а электромагнитный момент будет стремиться вернуть ротор в исходное устойчивое положение. При больших значениях ротор может выйти из «сцепления» со статором [4].

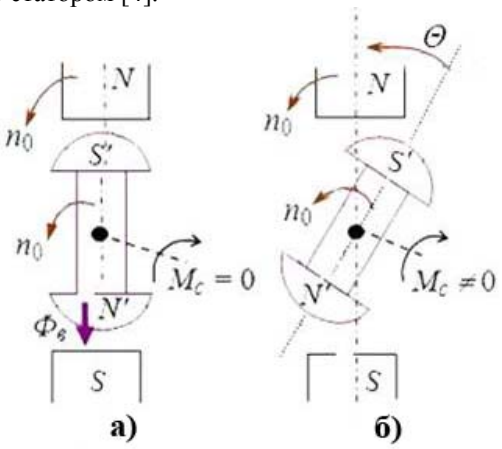


Рис. 1. Статическая модель магнитной цепи синхронного двигателя

В первом приближении можно считать, что в синхронном двигателе электромагнитный момент изменяется по закону [5]:

$$M_{эм} = M_{max} \sin\theta. \quad (1)$$

Этот момент $M_{эм}$ часто называют синхронизирующим.

В соответствии с уравнением равновесия моментов, в установившемся режиме:

$$M_{эм} = M_C = M_0 + M_H, \quad (2)$$

чем больше момент нагрузки $M_н$ на валу двигателя, тем на больший угол отстаёт ротор от поля статора (рис. 2). Значение момента сопротивления M_c не должно превышать значение максимального момента $M_{мах}$, т. к. это приводит к значительному увеличению значений угла θ и ротор может выйти из синхронизма.

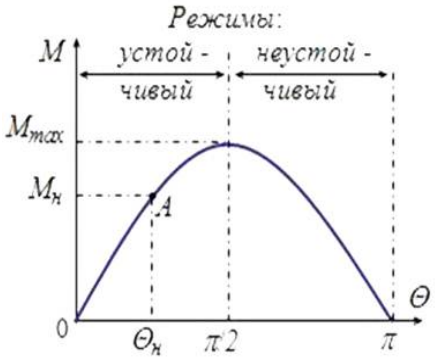


Рис. 2. Угловая характеристика синхронного двигателя.

Практически рабочий диапазон моментов выбирается таким образом, чтобы θ не превышал 20–30°.

Благодаря развитию полупроводниковой техники появилась возможность создания на базе синхронных двигателей регулируемых электроприводов.

Для электроприводов с синхронным двигателем наиболее пригодным является метод частотного регулирования с самосинхронизацией, при котором двигатель в принципе не может выпасть из синхронизма.

Принцип частотного регулирования с самосинхронизацией заключается в том, что управление подачей напряжения на обмотки статора двигателя осуществляется от системы датчиков положения ротора, вследствие чего напряжение подаётся на каждую фазу двигателя при углах на-

грузки $\theta < 90°$. При таком регулировании автоматически обеспечиваются условия устойчивой работы двигателя.

Синхронные двигатели, регулируемые путём изменения частоты с самосинхронизацией, называют вентильными двигателями.

Управление синхронным двигателем в функции взаимного положения векторов потокосцеплений ротора и статора, позволит управлять двигателем таким образом, что будет обеспечиваться плавный пуск, регулирование скорости и полный крутящий момент даже при низких скоростях.

Синхронные двигатели являются прекрасной альтернативой применяемым на данный момент асинхронным двигателям и двигателям постоянного тока.

Список литературы

1. *Осин, И. Л.* Электрические машины. Синхронные машины : учеб. пособие для вузов / И. Л. Осин, Ю. Г. Шакарян ; под ред. И. П. Копылова. – М. : Высш. шк., 1990.
2. *Сипайлов, Г. А*. Электрические машины (специальный курс) : учеб. для вузов / Г. А. Сипайлов, Е. В. Кононенко, К. А. Хорысов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1987.
3. *Забудский, Е. И.* Электрические машины. – Ч. 3. Синхронные машины : учеб. пособие для вузов. – М. : МГАУ, 2008.
4. *Вейнгер, А. М.* «егулируемые электроприводы переменного тока : конспект вводных лекций. – М., 2009.
5. Элементы автоматических устройств. – URL: http://esis-kgeu.ru/elements
6. *Брускин, Д. Э.* Электрические машины : учеб. / Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов. – Ч. 2. – М. : Высш. шк., 1987.

Секция 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАДИОТЕХНИКЕ И СВЯЗИ

УДК 621.391

Н. Д. Баженов, магистрант
Ю. Т. Загидуллин, ст. преподаватель
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Применение алгоритмов синхронизации, используемых в стандарте IEEE 802.11a, в ВЧ-системах связи

OFDM-сигналы активно применяются в каналах с многолучевым распространением (ВЧ-, СВЧ-диапазоны), поскольку устраняют проблему межсимвольной интерференции (за счет ввода циклического префикса) и эффективно борются с частотно-селективными замираниями (за счет передачи информации по множеству поднесущих). Однако *OFDM*-сигналы крайне чувствительны к ошибкам синхронизации: возникает межканальная интерференция, что приводит к полной или частичной потере информации. Обнаружение и синхронизация, как правило, осуществляется по преамбуле. В работе рассматривается преамбула, соответствующая стандарту IEEE 802.11a, Wi-Fi (СВЧ-диапазон). Она состоит из двух частей, и для синхронизации используются два различных алгоритма, каждый из которых обладает своими неоспоримыми преимуществами. Авторами предлагается произвести перерасчет основных параметров сигнала OFDM так, чтобы сигнал можно было передавать по ВЧ-каналу и проверить эффективность алгоритмов синхронизации в данном канале.

Структура преамбулы. Структура преамбулы стандарта Wi-Fi представлена на рис. 1.

Преамбула состоит из 10 коротких обучающих символов t_i, $I = 1,2…10$ (КОС) и 2 длинных обучающих символов T_j, $j = 1,2$ (ДОС) [1]. Между КОС и ДОС располагается циклический префикс (ЦП2). Каждый КОС состоит из $L = 16$ отсчетов и задается при помощи определенной последовательности, ДОС же состоит из $N = 64$ отсчетов.

© Баженов Н. Д., Загидуллин Ю. Т., 2015

Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» на 2012–2016 годы.

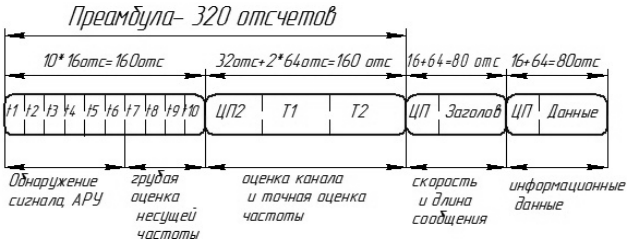


Рис. 1. Структура сигнала OFDM в стандарте 802.11a

Перерасчет параметров сигнала заключается в изменении (снижении) частоты дискретизации Fs так, чтобы длительность циклического префикса (ЦП) удовлетворяла требованиям ВЧ канала (не менее 2 мс), а полоса сигнала соответствовала полосе стандартного телефонного канала (3100 Гц). Параметры сигнала указаны в табл. 1.

Таблица 1. **Параметры исследуемого сигнала**

Параметр	Стандарт Wi-Fi	Исследуемый сигнал
Частота дискретизации F_S, Гц	$20 \cdot 10^6$	3600
Полоса сигнала, Гц	$16{,}875 \cdot 10^6$	3037,5
Интервал между поднесущими ΔF, Гц	$312{,}5 \cdot 10^3$	56,25
Длительность ЦП	0,8 мкс	4,444 мс
Общее количество поднесущих	52	52
Количество точек БПФ, *N*	64	64

Обнаружение и синхронизация. Весь алгоритм обнаружения и синхронизации представлен на рис. 2 [4].

По КОС осуществляется обнаружение сигнала и грубая оценка смещения несущей частоты по критерию максимума нормированной корреляции, предложенного Шмидлом и Коксом [2, 3]. Используя свойство периодичности КОС, вычисляется метрика принятия решения как отношение корреляции $P(n)$ двух соседних КОС к мощности одного КОС $R(n)$ (1).

$$M(n) = \left(\frac{|P(n)|^2}{(R(n))^2} \right), \tag{1}$$

где

$$P(n) = \sum_{m=0}^{L-1} \left(r(n+m+L) \cdot r^*(n+m) \right), \tag{2}$$

$$R(n) = \sum_{m=0}^{L-1} \left| r(n+m+L) \right|^2 . \quad (3)$$

Далее метрика (1) упрощается путем сравнения с порогом β = 0,5 (4):

$$M_{HW}(n) = \begin{cases} 1, M(n) \geq \beta, \\ 0, M(n) < \beta. \end{cases} \quad (4)$$

Чтобы минимизировать ложные обнаружения, метрика M_{HW} должна быть равна 1 по крайней мере при 16 отсчетах, при этом 5 из них должны следовать подряд.

После обнаружения преамбулы производится грубая оценка смещения несущей частоты (5) и последующая ее компенсация. В стандарте грубая оценка позволяет компенсировать сдвиг частоты в 2 раза превосходящий расстояние между поднесущими, т. е. ±2ΔF.

$$\hat{\varepsilon}_{ML} = -\frac{1}{2\pi}\frac{N}{L}\angle P(n) . \quad (5)$$

После подстройки частоты осуществляется точная временная и частотная подстройка по ДОС или обучающей последовательности (6). Также производится оценка канала связи.

$$MF(n) = \sum_{m=0}^{N-1} T^*(m) * r(n+m) . \quad (6)$$

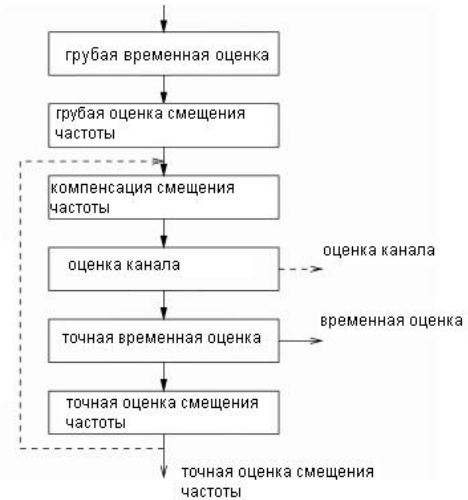


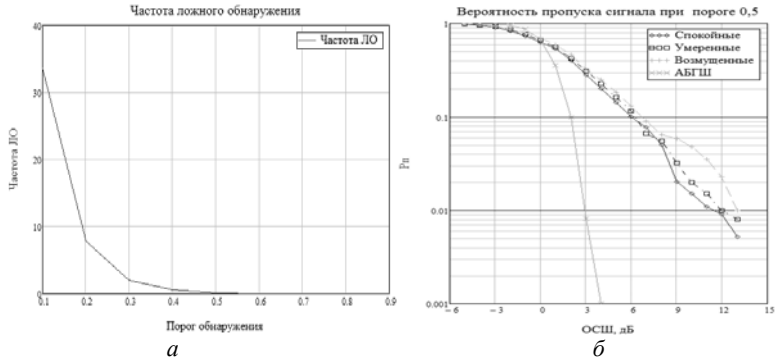
Рис. 2. Блок-схема обнаружения и синхронизации

Имитационное моделирование

Для анализа эффективности работы алгоритма синхронизации была проведена оценка частоты ложного обнаружения и вероятности пропуска сигнала, а так же оценка ошибки частотной и фазовой синхронизации.

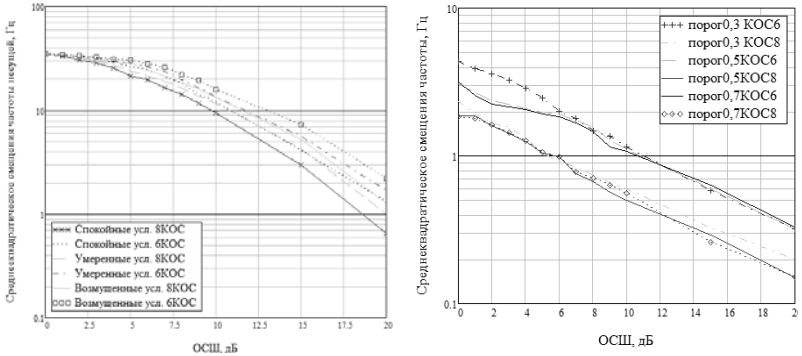
Исследования проводились в канале с АБГШ и в двухлучевом канале, реализованном в соответствии с рекомендацией ITU-R F.1487 для среднеширотной трассы для следующих условий: возмущенная ионосфера, умеренные условия и спокойные условия. Объем выборки составил 10000 повторений преамбулы.

Результаты моделирования приведены на рис. 3–5.



а *б*

Рис. 3. Частота ложного обнаружения в зависимости от порога обнаружения (а) и вероятность пропуска сигнала при пороге обнаружения 0,5 в зависимости от ОСШ (*б*)



а *б*

Рис. 4. Оценка смещение несущей частоты в двухлучевом канале (*а*) оценка смещение несущей частоты в канале АБГШ (*б*) в зависимости от ОСШ и длины окна наблюдения

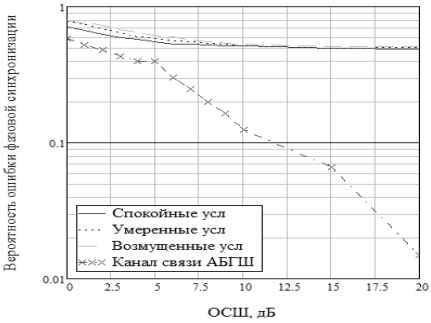


Рис. 5. Вероятность сбоя фазовой синхронизации от ОСШ

Выводы

1. Обнаружение преамбулы в канале АБГШ происходит при ОСШ = = 2 дБ и более, в многолучевом канале при 6 дБ и более.

2. Оценка смещения несущей частоты данного алгоритма синхронизации эффективнее действует, отслеживая сигнал по 8 КОС, чем по 6 КОС.

3. Алгоритм на основе критерия максимума нормированной корреляции позволяет быстрее достичь синхронизма в ВЧ-системах связи.

4. Наличие КОС обеспечивает надежное обнаружение преамбулы, не смотря на любые частотные сдвиги.

5. Грубая оценка смещения несущей частоты по КОС позволяет компенсировать сдвиг частоты в 4 раза больше чем оценка смещения по ДОС.

Список литературы

1. IEEE 802.11™-2012. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks – Specific requirements. – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.

2. *Mattias, Olsson*. A Rapid Prototipe of an IEEE802.11a synchronizer.November 13, 2002. – P. 16–32.

3. *Timothy M. Schmidl.* Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM / Timothy M. Schmidl and Donald C. Cox. – IEEE Transactions on Communications. – Vol. 45. – No. 12. – P. 1613–1621, December 1997.

4. *Georg, Maier.* Packet Detection and Frequency Synchronization with Antenna Diversity for IEEE 802.11p Based on Real-World Measurements / Georg Maier, Alexander Paier, Christoph F. Mecklenbrauker.

УДК 621.391

М. А. Бояршинов, канд. техн. наук, доцент
П. В. Караваев, аспирант
E-mail: pavelkaravaev@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Применение теории игр при формировании стратегии управления режимами работы системы радиосвязи

Большое разнообразие сигналов, применение сложных широкополосных сигналов (ШПС), наличие старого парка аппаратуры, необходимость совместимости различных систем связи, а также возможность формирования сигналов программным путём привели к тому, что характерной особенностью многих радиостанций в современных цифровых системах радиосвязи (ЦСР) является многорежимность. Появляется задача эффективного выбора режима работы для конкретного сеанса связи. Более того, актуальна задача управления режимами работы в течение сеанса связи для адаптации к условиям работы и эффективного использования функциональных возможностей аппаратуры [1]. Осуществить выбор оптимального режима передачи (стратегии) позволяет математический аппарат теории игр и линейного программирования.

В современных условиях функционирование технических систем характеризуется наличием различного рода конфликтных взаимодействий. Процесс передачи информации может быть представлен как конфликт между ЦСР и источником помех. Под источником помех, в первую очередь, понимаются среда распространения сигнала и постановщики организованных помех. Стороны преследуют различные цели, имея для их достижения некоторые наборы альтернатив, каждая из которых приводит к одному (или к одному из нескольких) из возможных исходов. При этом результат любого мероприятия каждой из сторон зависит от того, какой образ действия выберут другие стороны [2].

Процесс передачи может быть описан в виде конечной антагонистической игры

$$\Gamma = (X, Y, H), \tag{1}$$

где X и Y – множества стратегий игрока A и игрока B (режимов работы системы радиосвязи и источника помех) соответственно; H – функция выигрыша игрока A. Элементы этих множеств $x \in X$ и $y \in Y$ называются чистыми стратегиями игроков A и B.

© Бояршинов М. А., Караваев П. В., 2015

Значения функции H представляют в виде матрицы выигрышей, строки которой представляют стратегии игрока A, а столбцы – стратегии игрока B:

$$H = [h_{ij}],\ h_{ij} = \mathrm{H}(i, j),\ \ 0 \le i \le m-1,\ \ 0 \le j \le n-1, \qquad (2)$$

где h_{ij} – выигрыш игрока A при выборе им i-й чистой стратегии, если игрок B выберет j-ю чистую стратегию; m и n – число чистых стратегий игроков. Если матрица выигрышей имеет седловую точку (i_0,j_0), для которой справедливо соотношение

$$\max_i \min_j h_{ij} = \min_j \max_i h_{ij} = H(i_0, j_0), \qquad (3)$$

то ситуация (i_0,j_0) является ситуацией равновесия в чистых стратегиях.

В этом случае оптимальными стратегиями игроков, являющимися решением игры, будут их чистые стратегии, соответствующие седловой точке.

Однако обычно ситуации равновесия в чистых стратегиях не существует. В этом случае, применяя свои максиминную и минимаксную стратегии, игроки создают неустойчивую ситуацию, которую один из них может изменить с выгодой для себя. Для разрешения подобных ситуаций игрокам следует выбирать свои чистые стратегии случайно. Требуется определить распределение вероятностей на множестве чистых стратегий игрока, которое называется его смешанной стратегией [2, 3]. Это означает, что игрок выбирает одну из чистых стратегий в соответствии с вероятностями, заданными смешанной стратегией. Каждая чистая стратегия является частным случаем смешанной, когда вероятность одной из чистых стратегий равна единице, а остальных возможных чистых стратегий – нулю.

В случае смешанной стратегии средний выигрыш игрока A определяется следующей формулой

$$H_{\mathrm{A}}(P, Q) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} p_i\, q_j h_{ij}, \qquad (4)$$

где $P = (p_1, p_2,\ldots, p_m)$ – смешанная стратегия поведения системы связи; p_i – вероятность применения системой связи i-й чистой стратегии; $Q = (q_1, q_2,\ldots,q_n)$ – смешанная стратегия источника помех; q_j – вероятность применения источником помех j-й чистой стратегии.

Основные проблемы при использовании теории игр возникают при задании функции выигрыша для конкретной ситуации. Для задач, рассматриваемых в настоящей работе, характерно, что функция выигрыша в первую очередь должна отображать изменение качества связи. Наиболее общим показателем качества связи является вероятность правильного приёма. Поэтому предлагается считать, что элементы матрицы выигрышей равны

$$h_{ij} = P_{nnij}, \tag{5}$$

где P_{nnij} – вероятность правильного приёма кодового слова при условии, что ЦСР выбрана i-я, а источником помех j-я чистая стратегия. Вероятность P_{nnij} может быть рассчитана на основании различных известных моделей [4].

В качестве примера, рассмотрим игру 3×3. Пусть ЦСР имеет три рабочие частоты, а значит три чистые стратегии. Постановщик помех знает характеристики, используемые в системе средств связи, и может поставить помеху на любую из имеющихся рабочих частот. Следовательно, он также имеет три чистые стратегии. Предполагается, что ЦСР известно время, через которое постановщик помех сможет оценить обстановку, принять решение и поставить помеху. Поэтому она постарается изменить свой режим работы именно в этот момент. Чтобы система связи в момент перестройки не знала поражённую частоту (частотный поддиапазон), постановщик должен изменить её в тот же момент времени. Тогда оба участники конфликта будут осуществлять смену рабочих частот, не зная, какие действия предпримет противоположная сторона [1].

Считаем, что матрица выигрышей имеет вид H_1:

$$H_1 = \begin{bmatrix} 1/N & P_1 & P_1 \\ P_2 & 1/N & P_2 \\ P_3 & P_3 & 1/N \end{bmatrix}, \tag{6}$$

где N – число разрешенных кодовых комбинаций; P_1, P_2, P_3 – вероятности правильного приема элементов сообщения при соответствующем выборе рабочих частот системой связи и источником помех. Значением игры будет математическое ожидание вероятности правильного приёма элемента сообщения.

Элемент матрицы выигрышей $1/N$ соответствует поражению источником помех рабочей частоты ЦСР. Вероятность правильного приема в этом случае равна вероятности простого угадывания.

Считаем, что $1/N < P_1 < P_2 < P_3$. Выполнение этого неравенства в нашем случае означает, что система связи имеет три стратегии, отличающиеся вероятностями правильного приема при непоражении постановщиком помех выбранной частоты. Это возможно, например, если прохождение радиоволн и уровень шумов на каждой из допустимых частот различны. Вероятность $P1$ соответствует наихудшей шумовой обстановке, $P2$ –средней, а $P3$ соответствует наилучшему случаю, почти полному отсутствию шумов и помех.

Можно также считать, что вероятности P_1, P_2, P_3 соответствуют выбору ЦСР определённого вида модуляции.

Был проведён анализ конфликта, который можно описать игрой с матрицей выигрышей H_1. В процессе анализа рассматривались четыре различные ситуации v_1, v_2, v_3, v_4:

– *ситуация* v_1 – система связи и постановщик помех, выбирают режим работы с позиции теории игр;

– *ситуация* v_2 – система связи выбирает режим работы с позиции теории игр, постановщик помех – равновероятно случайным образом;

– *ситуация* v_3 – постановщик помех выбирает режим работы с позиции теории игр, система связи – равновероятно случайным образом;

– *ситуация* v_4 – система связи и постановщик помех выбирают режим работы равновероятно случайным образом.

На рис. 1, 2 для матрицы выигрышей вида H_1 приведены графики зависимостей значения игры v от вероятности P_3 при $1/N = 0{,}25$ и различных значениях P_1 и P_2 для всех четырёх рассмотренных ранее ситуаций.

Полученные результаты показывают, что наилучшие результаты для ЦСР обеспечивает ситуация v_2, когда ЦСР использует теорию игр для формирования стратегии управления режимами работы, а постановщик помех использует равновероятный случайный выбор. Противоположная ей ситуация v_3 наихудшая для ЦСР. Разница в выигрыше для сложных ситуаций достигает 25 % от значения выигрыша в ситуации v_2.

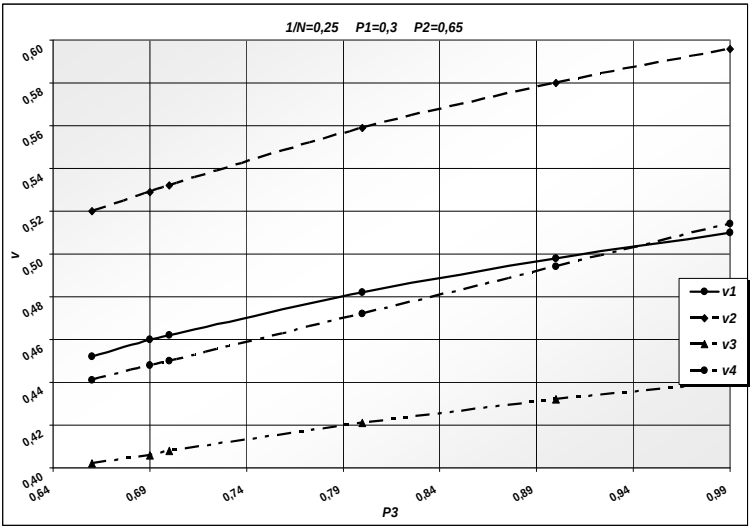


Рис. 1. Зависимость значения игры v от вероятности P_3 для ситуаций v_1, v_2, v_3 и v_4

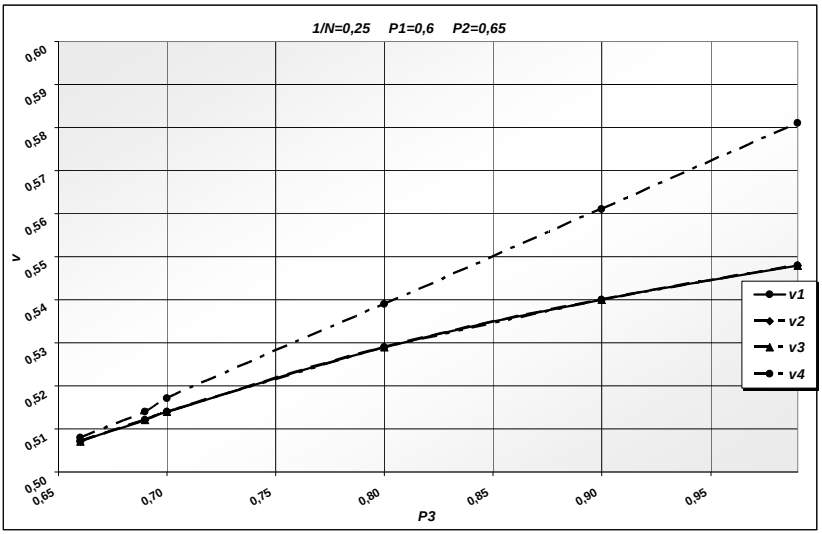


Рис. 2. Зависимость значения игры v от вероятности P_3 для ситуаций v_1, v_2, v_3 и v_4

Таким образом, теория игр позволяет выработать рекомендации по формированию стратегии управления режимами. Причём для определённых типов конфликтов и матриц выигрышей эти рекомендации позволяют ЦСР получить выигрыш и добиться улучшения своих технических характеристик.

Список литературы

1. *Бояршинов, М. А.* Программно-аппаратные средства для обработки сигналов и управления режимами в устройствах цифровых систем радиосвязи : дис. … канд. техн. наук. – Ижевск, 2005. – 168 с.

2. Д*юбин, Г. Н.* Введение в прикладную теорию игр / Г. Н. Дюбин, В. Г. Суздаль. – М. : Наука, 1981. – 336 с.

3. *Петросян, Л. А.*Теория игр : учеб. / Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. В. Шевкопляс. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.

4. *Блох, Э. Л.* Модели источника ошибок в каналах передачи цифровой информации / Э. Л. Блох, О. В. Попов, В. Я. Турин. – М. : Связь, 1971. – 312 с.

УДК 621.396.97

В. А. Вагина, магистрант
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование качества покрытия системы цифрового радиовещания

Цифровое радиовещание является одной из важных частей мировой и национальной политики, предоставляя большие возможности для дальних радиопередач [1, 2].

DRM (Digital Radio Mondiale) – это система цифрового радиовещания (ЦРВ) со множеством функций, которая применяется в диапазонах частот не более 30 МГц.

DRM-вещание происходит в коротковолновом (КВ) диапазоне, данный канал обладает сложной помеховой обстановкой и прохождение радиоволн сильно зависит от различных факторов, следовательно необходимо правильно прогнозировать прохождение радиоволн и выбирать оптимальную частоту и мощность.

К основным факторам, влияющим на качество радиосвязи и мероприятий радиоконтроля, относятся: время года, время суток, состояние ионосферы, частота вещания и мощность радиопередающего центра, уровень помех.

Декаметровые волны распространяются исключительно посредством отражения ионосферой, поэтому вокруг передатчика существует так называемая зона радиомолчания. Днём лучше распространяются более короткие волны (30 МГц), ночью – более длинные (3 МГц). Короткие волны могут распространяться на большие расстояния при малой мощности передатчика

Для того чтобы вести планирование мероприятий радиоконтроля и планирование связи на разных частотах для потребителей радиочастотного спектра, применяется прогнозирование распространения радиоволн. Долгосрочные радиопрогнозы позволяют определять критические частоты слоев ионосферы, их высоты, значения максимальных и наименьших применимых частот для радиолиний различной протяженности.

Для обеспечения надежной радиосвязи рабочие частоты, определяемые по долгосрочным радиопрогнозам, следует систематически корректировать. Для корректировки необходимо использовать краткосрочные и оперативные радиопрогнозы, которые должны содержать также информацию о возмущениях в ионосфере.

© Вагина В. А., 2015

В данной статье рассказывается о проведенном исследовании решений, направленных на улучшение качества покрытия системы цифрового радиовещания. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

– расчет зон покрытия радиовещательными центрами;

– оптимизация частотно-временных и энергетических режимов работы радиопередающих центров.

И проработаны следующие вопросы:

– обзор современных цифровых передатчиков DRM-сигнала;

– анализ алгоритмов прогнозирования радиолиний КВ-диапазона.

Основными производителями оборудования для DRM-вещания являются DRS Continental Electronics (США); Harris Broadcast (США); Hitachi Kokusai Electric Inc. (Япония); Nautel Ltd (Канада); Fraunhofer Geselschaft (Германия); RIZ-Transmitters Co. (Хорватия); Thomson Broadcast & Multimedia (Франция/ Швейцария); DIGIDIA (Франция); TRANSRADIO SenderSysteme Berlin (Германия). Анализ существующих передатчиков DRM-сигнала показывает, что наиболее распространенные мощности передающего оборудования 250, 500, 750, 1000 кВт. Для передатчиков с данными рабочими мощностями и проводились расчеты.

Расчеты зон покрытия радиовещанием на коротких волнах проводились с помощью программы *WPLOT2000EX-DF* версии V4.0.7B. Данная программа позволяет: прогнозировать распространение РВ; вычислять область покрытия; моделировать охват вещания АМ; моделировать охват вещания DRM.

Исходные данные для моделирования:

– расположение радиовещательных центров: Калининград, Краснодар, Новосибирск;

– вид антенны: AHR 4/4/0.5;

– минимальное значение отношения сигнал/шум: 10,5 дБ;

– интервал времени передачи,ч: 00:00–24:00 ;

– рабочие частоты передающих центров, МГц: 4, 6.1, 7.3, 9.7, 11.7, 13.7, 15.4, 17.8, 19, 21.4, 26;

– область покрытия: Северо-Западный федеральный округ.

Результатом работы является серия таблиц *Excel*, в которых отображено распределение значения ОСШ во времени и по месяцам года. Таблицы рассчитывались при мощностях передатчика 250, 500, 750, 1000 кВт, при рабочих частотах передающих центров 4, 6.1, 7.3, 9.7, 11.7, 13.7, 15.4, 17.8, 19, 21.4, 26 МГц. Радиовещательные центры находятся в Калининграде, Краснодаре и Новосибирске.

На основании полученных результатов был построен график зависимости отношения «сигнал/шум» от времени суток.

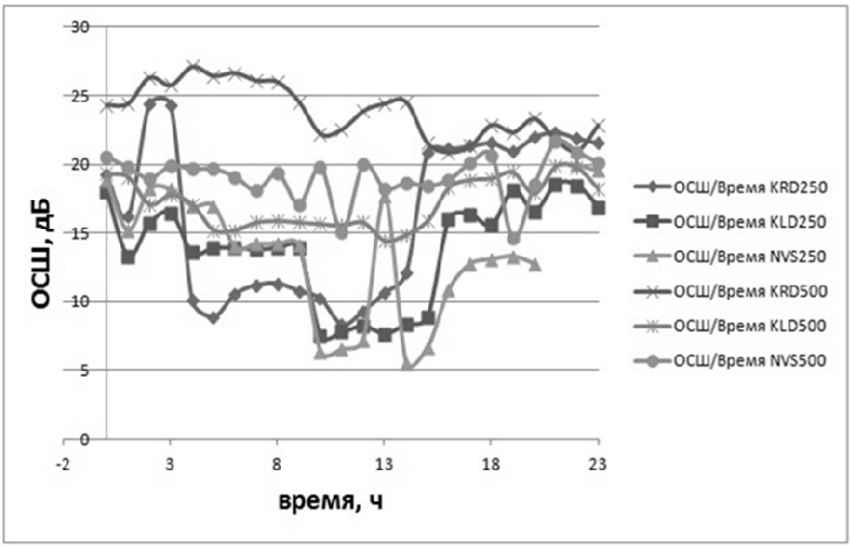


Рис. 1. График зависимости ОСШ от времени

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что для организации качественного радиовещания можно использовать один радиопередающий центр в г. Калининграде с мощностью излучения 500 кВт, на частоте 11700 кГц, при которой в центральной части СЗФО рассчитанное отношение «сигнал/шум» составляет от 20 до 45 дБ. Или использовать два радиопередающих центра одновременно работающих в городах Краснодаре и Калининграде с мощностями 250 кВт на частотах 9 700 и 6 100 кГц соответственно.

В ходе исследования был рассмотрен стандарт радиовещания DRM, проведен анализ прогнозирования радиолиний КВ-диапазона, рассчитаны зоны покрытия радиовещательными центрами и оптимизированы частотно-временные и энергетические режимы работы радиопередающих центров.

Список литературы

1. Новая аудиовизуальная информационная система / В. П. Дворкович [и др.] // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. – 2005. – № 5 – С. 52–56

2. *Зубарев, Ю. Б.* Перспективы развития звукового вещания в России / Ю. Б. Зубарев, Е. П. Зелевич, М. С. Петров // Электросвязь. – 2002. – № 3. – С. 2–4.

3.*Симонов М. М.* Рынок вещания России: в преддверии цифровизации // ИнформКУРЬЕРсвязь. – 2003. – № 4. – С. 33–36.

УДК 621.391

О. И. Васильев, *О. С. Карпов*, студенты
А. И. Нистюк, д-р техн. наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Телекоммуникационные устройства с тактильной обратной связью

В последнее время большинство мобильных телекоммуникационных устройств содержат сенсорный экран. Сенсорный экран обладает некоторыми недостатками, одним из которых является отсутствие тактильной связи с оператором. Среди опций, максимум, что могут предоставить серийные устройства, это небольшая вибрация в ответ на то или иное действие. Основная проблема заключается в изменении амплитуды движения экрана при имитации тактильного объема.

Известны три наиболее распространённые технологии, реализующие тактильные ощущения на экране: на основе пьезоэлектрического эффекта, на основе электростатического поля и на основе вибраций экрана [1, 2].

Пьезоэлектрический материал используется в прослойке между дисплеем и защитным стеклом. Под воздействием электрического напряжения активный слой изгибается и деформирует внешний слой экрана. Деформация экрана в точке прикосновения пальца дает ощущение нажатия клавиши. Дополнив это действие звуком характерного щелчка, можно усилить это ощущение. Однако описанная технология имеет известные ограничения, связанные с деформацией экрана.

При использовании электростатического поля на пальце возникает ощущение за счет возникновения силы, поскольку на пальце возникает противоположный экрану заряд. Применение этой технологии требует высоких напряжений, что вызывает массу проблем работы радиоэлектронного устройства.

Самая распространенная технология основана на вибрации. Основой генератора вибраций являются актуаторы, которые присутствуют в любом смартфоне или планшете и выполняют функцию виброзвонка [3–5]. Для увеличения тактильной отдачи иногда увеличивают их количество [6].

В создании тактильного сенсорного экрана необходимо учесть все компоненты программного и аппаратного обеспечения. В создании всей архитектуры тактильного сенсорного экрана обычно используют один и более приводов – электромагнитные устройства, которые необходимо

© Васильев О. И., Карпов О. С., Нистюк А. И., 2015

установить в необходимом месте для работы с сенсорным экраном. Для их взаимодействия требуется программное обеспечение, которое встроено в главный микропроцессор. Для распознавания и оценивания изображения на поверхности экрана необходима библиотека тактильных эффектов и программируемый интерфейс для вызова этих эффектов [2].

Управление виброприводами выполняется при помощи электронной схемы, управляющие сигналы которой необходимо оптимизировать в соответствии с используемой технологией и фазовым портретом, чтобы обеспечить адекватную реакцию на поступающий сигнал. Для ответной реакции требуется выбрать соответствующий выход процессора на привод.

Для создания ощущения объема изображения поверхность сенсорного экрана вибрирует в момент пересечения границ изображения. Колебания производят в направлении, перпендикулярном плоскости экрана, а амплитуда колебаний пропорциональна глубине изображения. В качестве такого возбудителя колебаний подходит штатный виброзвонок, которому необходимо добавить регулирование частоты вращения. Возбуждение колебаний с регулируемой амлитудой возможно и другими устройствами.

Модель виброзвонка представлена на рис. 1 и является самой распространенной и типичной конструкцией. Виброзвонок представляет собой электродвигатель с неуравновешенной массой на оси. Данная модель педствляет собой систему с динамическим возбуждением [5]. Система с динамическим возбуждением ведет себя так, как показано на рис. 2, где величина μ называется коэффициентом динамичности.

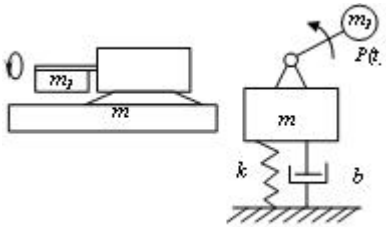


Рис. 1. Динамическая модель актуатора с неуравновешенной массой: b – коэффициент вязкого сопротивления демпфера; m – масса устройства с сенсорным экраном; k – коэффициент жесткости упругой связи; m_1 – неуравновешенная масса

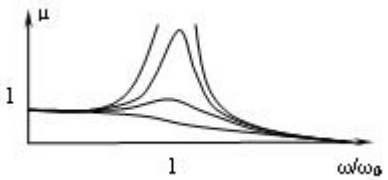


Рис. 2. Изменение коэффициента динамичности от расстройки

Коэффициент динамичности показывает отношение амплитуды вынужденных колебаний системы к ее смещению под действием статиче-

ски приложенной силы. То есть коэффициент динамичности показывает во сколько раз амплитуда колебаний меньше или больше, чем статическая деформация при действии той же силы.

Зависимость величины коэффициента от частоты является важнейшей особенностью коэффициента динамичности. Это видно из графика, показанного на рис. 2. Из этого вытекает, что амплитуда вибраций также зависит от частоты. Таким образом, изменяя частоту вибраций неуравновешенной массы, изменяем амплитуду колебаний экрана.

Ощущение объема при прикосновении сенсорного экрана возникает за счет ответной реакции экрана. Например, при касании к изображению кнопки экран вибрирует с амплитудой, равной высоте этой кнопки. Возникает иллюзия её объема. На рис. 3 показано изображение двухуровневой кнопки и изменение амплитуды вибрации в зависимости от области прикосновения к изображению.

Реализовать тактильные ощущения возможно и другими способами, поскольку возбудителей механического движения достаточно много. Авторы обратили внимание только на широко применяемую технологию в мобильных средствах телекоммуникаций и раскрыли ещё одну возможность. Причем реализация осуществима с минимальными издержками.

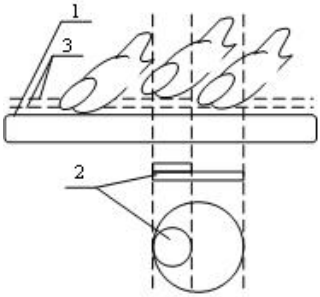


Рис. 3. Изменение амплитуды вибрации экрана при касании к нему в различных местах изображения: *1* – поверхность экрана; *2* – тестовое изображение двухуровневого изображения; *3* – различные амплитуды вибраций в зависимости от места касания

Для многомассовых колебательных систем, усиливающих ощущение объема, можно применить методики увеличения амплитуды, изложенные в [6].

Следует отметить, что вибрации могут воспроизводить не только ощущения органов управления, что само по себе повышает комфорт и надежность действий оператора, но и изображения статических и динамических картинок.

Таким образом, рассмотрены основные составляющие компоненты телекоммуникационного устройства, без которых вся система является неработоспособной. На основе анализа сделаны следующие выводы.

1. В библиотеку тактильных эффектов должен быть включен широкий ряд эффектов, чтобы ощущения от различных элементов управления сенсорным экраном четко различались и были функционально дифференцированы.

2. Выделены возможные варианты ощущения пользователя:

– прикосновение – обнаружение некого объекта в заданной точке;

– осязание, ощупывание – обнаружение и измерение объекта на поверхности тактильного экрана;

– скольжение – обнаружение и ощущение движения объекта.

3. Представлен способ представления объема, а именно использование штатного актуатора, амплитуда колебаний которого регулируется частотой вращения.

Данные исследования позволят не только повысить комфорт пользования телекоммуникационной техникой, но и дадут возможность лицам с ограниченными возможностями воспринимать информацию, военным и представителям МЧС – повышенную надежность в правильном восприятии информации.

Список литературы

1. *Кингсли-Джонс, Стив*. Сенсорный экран с тактильной обратной связью. – URL: http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2195/doc/50002/

2. Создана новая технология тактильной обратной связи: Новости IT // СОФТ@mail.ru. – URL: http://soft.mail.ru/pressrl_page. php?id=43962

3. *Nistyuk, A. I.* Vibration Engineering; Copyright by Hemisphere Publishing Corporation. – 1988. – No. – P. 121–131.

4. *Нистюк, А. И.* Технология тактильной обратной связи в устройствах с сенсорным экраном // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2012. – № 3. – С. 66–68.

5. *Миловидова, А. И.* Экспериментальная установка для измерений колебаний сенсорного экрана / А. И. Миловидова, А. И. Нистюк // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : электрон. науч. изд. : сб. тр. II Всерос.й науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием (Ижевск, 23–25 апр. 2013 г.) – Электрон. дан. (1 файл : 39,3 Мб). – Ижевск, 2013. – С. 532–534.

6. *Nistyuk, A.* Mathematical Base Of Technology Of Tactile Feedback In Devices With The Touch Screen // 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. – Krasnoyarsk : Siberian Federal University. Russia, Krasnoyarsk, September 12−13, 2013. – Pp. 1–4.

УДК 621.396

О. А. Волков, соискатель
E-mail: volkov-rus@yandex.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Анализ скорости передачи данных при использовании псевдослучайной перестройкой рабочей частоты

Огибающая частотного элемента (ЧЭ), определяемого как фрагмент сигнала на интервале времени между двумя смежными моментами переключения частоты, в силу специфики его формирования не является постоянной. По характеру огибающей ЧЭ делиться на составляющие определенной длительности [1]. Длительность частотного элемента T_h состоит из 2 частей: активного времени $T_{d\,\omega}$, в течение которого ЧЭ имеет полную амплитуду и передаются информационные символы, и интервала переключения $T_{s\,\omega}$, который соответствует суммарному времени переходных процессов в частотном синтезаторе:

$$T_h = T_{d\omega} + T_{s\omega}\,, \tag{1}$$

$$T_{s\omega} = T_r + T_f + T_{de}\,, \tag{2}$$

где T_{de} – интервал времени, в течение которого частотный синтезатор не выдает напряжения, T_r и T_f – интервалы времени нарастания и спада фронтов ЧЭ соответственно.

В течение интервала переключения для хранения символов используется буферная память. Содержимое буфера извлекается и передается в течении интервала времени $T_{d\,\omega}$.

Между требуемой скоростью передачи данных от источника информации $R_д$ и временными интервалами ЧЭ существуют вполне определенные связи. Число символов, которое должно быть передано за длительность ЧЭ T_h, будет равно $R_д T_h$. При длительности символа T_S величина активного интервала определяется как.

$$T_{d\omega} = R_Д T_h T_S\,. \tag{3}$$

Из соотношений (1)–(3) следует

$$T_h\left(1 - R_Д T_S\right) = T_r + T_f + T_{de}\,. \tag{4}$$

Время переключения (2) нельзя произвольно уменьшать по целому ряду причин. Во-первых, из-за «звона» на выходе фильтра промежуточ-

© Волков О. А., 2015

ной частоты приемника, из-за усиления помехи от соседних частотных каналов приемника и др. Кроме того, серьезные ограничения по времени нарастания и спада связаны со спектральными перекрытиями ЧЭ различных систем радиосвязи (СРС), находящихся в данном районе. Для устранения спектральных наложений требуется, как указано в [1]:

$$\min\left(T_r, T_f\right) \geq aT_S\,. \tag{5}$$

Здесь a – постоянная величина, обычно лежит в пределах $2 \geq a \geq 1$.

В общем случае, учитывая составляющие ЧЭ сигнала, скорость перестройки частоты R_h при межсимвольной ППРЧ связана со скоростью передачи данных и скоростью передачи символов R_S следующим неравенством [1].

$$R_h \leq \frac{R_S - R_Д}{2a + R_S T_{de}} \tag{6}$$

Для получения достаточно высокой скорости передачи данных необходимо, чтобы время переключения (2) составляло незначительную часть длительности ЧЭ (1). Так как $T_{de} << T_S$, то с учетом требования (5) должно выполняться условие $T_S << T_h/2a$. В этом случае величина $R_Д$ не значительно отличается от величины R_S ($R_Д \approx R_S$), а $R_h << R_Д$. То есть ЧЭ содержит группу из последовательности символов.

Для каналов с многолучевостью при передаче последовательности простых сигналов длительность символа T_S ограничивается снизу таким образом, чтобы межсимвольная интерференция проявлялась только на части длительности посылки [2]. Для КВ-канала рекомендуется $T_S \geq 5{\cdot}10^{-3}$с. Заданные скорости передачи при последовательной передаче на интервале длительности ЧЭ-посылок, спектр которых согласован с полосой 3.1 кГц, не позволяют обеспечивать требования к длительности посылки, обусловленные межсимвольной интерференцией, поскольку посылки имеют $T_S << 5 \cdot 10^{-3}$с.

Основным видом информационной модуляции при передаче данных в СРС с ППРЧ является М-ичная некогерентная ЧМ, в частности двоичная ЧМ. В СРС с медленной ППРЧ применяются и другие виды модуляции: двоичная ФМ, квадратурная ФМ, относительная ФМ (ОФМ), манипуляция с минимальным сдвигом частоты [3].

Рассмотрим возможности обеспечения заданных скоростей передачи при использовании различных вариантов модуляции при обеспечении условий по межсимвольной интерференции. Прежде всего, необходимо отметить, что требования по составляющим интервала переключения (5) являются следствием необходимости уменьшения влияния процесса переключения на информационный сигнал. Это влияние проявляется

через инерционность фильтров и аналогично действию импульсной помехи. Поэтому оно может быть уменьшено методами, которые применяются для защиты от импульсных помех [2]. В частности, в рассматриваемом случае эффективным вариантом будет сочетание широкой полосы с последующим узкополосным цифровым фильтром, который запирается на время переходных процессов в широкой полосе или обнуляется в конце переходного процесса.

Рассмотрим случай посимвольной ППРЧ с М-ичной некогерентной ЧМ, размещаемой в полосе $\Delta f = 3.1$ кГц. Если полагать интервал переключения $T_{s\,\omega} = 2T_S$, то при сигнале, содержащем m бит ДИ, односторонняя ширина спектра варианта сигнала будет находиться как

$$\Delta F_{S1} = \frac{1}{T_{S1}} = \frac{\Delta f}{2^m + 1}. \qquad (7)$$

Скорость передачи в одноканальном режиме, выраженная в битах, будет находиться как

$$C_{\text{Д}1} = \frac{m}{3T_{S1}} = \frac{m \cdot \Delta f}{2^m + 1}. \qquad (8)$$

Максимум величины (8) имеет место при $m = 2$ ($C_{\text{д}1} = 413$ бод). При этом $T_h = 4.84 \cdot 10^{-3}$ с, что близко к условию, связанному с межсимвольной интерференцией. Если учесть, что при посимвольной ППРЧ интервал следования сигналов на одной частоте не менее $2T_h$, то этот вариант полностью обеспечивает несущественность межсимвольной интерференции. Для получения минимально требуемой скорости необходимо параллельное использование 3 каналов, а для максимальной скорости – 12, без повторного использования каналов в течение следующего ЧЭ. То есть необходимо располагать более чем 24 интервалами полосы размером $\Delta f = 3.1$ кГц.

Если принять меры по уменьшению интервала переключения $T_{S\,\omega}$, то можно увеличить скорость передачи. Если положить, что возможно получить значение $T_{s\,\omega} \approx 2/\Delta f$, то будем при посимвольной ППРЧ иметь.

$$T_{h2} = T_{S1} + \frac{2}{\Delta f} = \frac{2^m + 3}{\Delta f}. \qquad (9)$$

И скорость передачи.

$$C_{\text{Д}2} = \frac{m \cdot \Delta f}{2^m + 3}. \qquad (10)$$

Максимум величины (10) также имеет место при $m = 2$, и соответствует скорости 885 бод, что не согласуется с рядом заданных скоростей

передачи. При m = 1 реализуется скорость передачи 600 бод в канале шириной Δf = 3.1 кГц. Соответственно, необходимо использовать 2, 4 и 8 параллельных каналов для заданных скоростей. Так как в этом случае $T_h = 1.6 \cdot 10^{-3}$ с, то для заданного значения межсимвольной интерференции должны обеспечиваться интервалы без повторного использования канала на протяжении не менее $2T_h$. Следовательно, необходимо иметь не менее 24 частотных каналов.

Для двух рассмотренных вариантов величина T_S предполагает возможность разрешения многолучевости, поэтому требуется реализация разделения и сложения лучей после приема.

Рассмотренные выше варианты ЧМ предполагают размещение вариантов сигнала, представляющих кодовые символы в общей полосе фиксированной ширины, положение которой изменяется по закону ППРЧ. Однако двоичная частотная телеграфия (ЧТ) может быть организована со случайным разносом сигналов «1» и «0» по частоте, с размещением каждого сигнала в полосе Δf = 3.1 кГц. В этом случае $T_S = 1/\Delta f$, и при $T_{s\,\omega} \approx 2T_S$ скорость передачи составляет около 1000 бод. Если осуществить уменьшение величины $T_{s\,\omega}$, то можно получить минимальное значение заданной скорости 1200 бод. Однако величина длительности частотного элемента и сигнала уменьшиться ($T_h \approx 0.83 \cdot 10^{-3}$), что потребует увеличения интервала без повторения ЧЭ до 7. С учетом того, что для передачи символа выделяется два канала с полосой Δf = 3.1 кГц, а для реализации максимального значения заданной скорости необходимо учетверить число каналов, то минимальное количество требуемых полос составляет 56.

При медленной ППРЧ может быть использована относительно-фазовая телеграфия (ОФТ). В этом случае на интервале длительности ЧЭ для передачи последовательности из n_p кодовых символов необходимо использовать (n_p + 1) посылок, длительность которых должна удовлетворять ограничению снизу, обусловленному межсимвольной интерференцией. Односторонняя ширина спектра такого сигнала не превышает 200 Гц, и в полосе Δf = 3.1 кГц может разместиться $n_к$ параллельных каналов:

$$n_к = \Delta f \cdot T_S - 1 . \qquad (11)$$

При двоичной ОФТ скорость передачи будет находиться по формуле

$$C_{ОФТ} = \frac{n_p n_к \cdot \Delta f}{2 + (n_p + 1)(n_к + 1)} . \qquad (12)$$

Для минимального значения T_S минимальное значение $n_к$ из (11) равно 14. При $n_к \geq 14$ величина (12) с увеличением $n_к$ возрастает очень не

значительно. Результаты вычислений по формуле (12), представленные в таблице, показывают, что при n_p = 1 обеспечивается нижняя граница скорости передачи, а при n_p = 8, реализуется вдвое большее значение. Однако дальнейшее увеличение значения n_p дает малый прирост скорости передачи, вследствие наличия предела, который равен величине $n_к \cdot \Delta f/(n_к + 1)$.

Скорость передачи при ОФТ

n_p	1	2	4	8	16
$C_{ОФТ}(n_к = 14)$	1356	1847	2100	2534	2702

Использование ДОФТ позволяет вдвое увеличить скорость передачи, что в принципе позволяет в одной полосе Δf = 3.1 кГц обеспечит заданную максимальную скорость.

Список литературы

1. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В. И. Борисов [и др.]. – М. : Радио и связь, 2000.
2. *Бухвинер, В. Е.* Оценка качества радиосвязи. – М. : Связь, 1974. – 223 с.
3. *Михайлов, А. В.* Высокоэффективные оптимальные системы связи. – М. : Связь, 1980 г.

УДК 621.396

О. А. Волков, соискатель
E-mail: volkov-rus@yandex.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Адаптация широкополосного сигнала к состоянию канала связи

Широкополосный сигнал (ШПС) РС представляет собой широкополосный сигнал синтезированный на основе использования принципа эквивалентности временного и частотного представлений сигнала в дискретной частотной области, посредствам фиксации величины модуля его коэффициентов дискретного преобразования Фурье. Любой участок ШПС РС может быть принят как широкополосный элемент [1].

© Волков О. А., 2015

Наименьший размер широкополосного элемента (ШПЭ), для которого еще может быть решена задача устранения начальной задержки по неопределенности, имеет ограничение снизу. Это вовсе не означает, что участки спектра с меньшей размерностью не могут быть использованы для приема информации. Поскольку ШПС РС является сигналом с жесткой внутренней структурой, то для всех выделяемых ШПЭ время задержки является одинаковым. Следовательно, если есть элемент, который обеспечивает решение задачи синхронизации по задержке, то может быть выполнен и прием по элементам, размерность которых лежит ниже границы, определяемой задачей синхронизации. В этом случае следует учитывать, что погрешности синхронизации по задержке, обусловленные действием аддитивных помех, приводят к взаимным линейным фазовым сдвигам откликов разнесенных по спектру ШПС РС ШПЭ. Поэтому совместный прием ШПЭ может быть только некогерентным. Возможность произвольного разбиения ШПС РС на ШПЭ, обеспечивают максимальное использование ресурса канала связи, обусловленного неравномерностью спектра аддитивных помех [2].

Переход к приему ШПЭ, выделяемых из ШПС РС, приводит к уменьшению разрешающей способности по времени задержки. Поэтому процесс синхронизации по ШПЭ должен реализоваться с параметрами синхронизации, которые определяются текущей размерностью ШПЭ, которая, в свою очередь, вытекает из помеховой обстановки. То есть адаптация к распределению аддитивных помех по спектру ШПС включает и изменение параметров системы синхронизации. Уменьшение разрешающей способности, обусловленное переходом к приему ШПЭ, являющихся частью исходного ШПС, увеличивает скорость вхождения в синхронизм пропорционально уменьшению размерности элемента, по которому вычисляется отклик, что обусловлено соответствующим расширением главного пика характеристики отклика.

Для проверки справедливости предположения о возможности приема участков спектра ШПС РС как ШПЭ было выполнено моделирование такого приема в условиях действия мощной сосредоточенной помехи. В качестве ШПС РС использовался сигнал с 512 дискретными линиями постоянной, равной мощности, фазы которых выбирались из ряда равномерно распределенных случайных чисел. Реализации аддитивной помехи содержали мощную селективную помеху (СП), ширина спектра которой составляла 80 % ширины полного спектра ШПС РС. Эта помеха располагалась таким образом, чтобы иметь два ШПЭ, не пораженных СП, различной размерности, расположенных на краях спектра ШПС РС. Один ШПЭ содержал 72 дискретные линии, а другой – 32. Мощность СП на 35 децибел превышала мощность аддитивных помех, действую-

щих за пределами полосы поражения СП. На рис. 1 представлена зависимость мощности нормированного отклика на образец от нормированного сдвига по оси времени при реализации приема ШПС РС в целом при отношении сигнал/помеха, характеризующем аддитивную смесь, $q^2_S = -27$ децибел. Здесь и далее ось времени нормируется разрешающей способностью ШПС РС в целом, а отклик – мощностью отклика при отсутствии аддитивных помех. Для того чтобы отклик не совпадал с осью ординат, введена начальная задержка ШПС на 20 элементов разрешения, поэтому максимум отклика должен наблюдаться при $\tau_z = 20$.

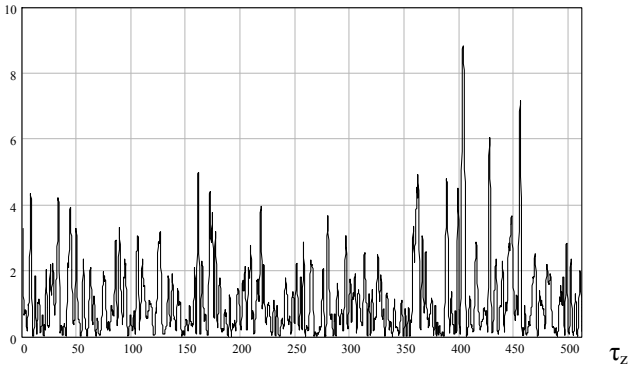


Рис. 1. Зависимость нормированного отклика от временного сдвига при приеме ШПС РС в целом без учета неравномерности спектра аддитивных помех при $q^2_S = -27$ дБ

Как видно из рис. 1, при указанных условиях приема реализация приема ШПС без учета неравномерности спектра аддитивных помех, полезная составляющая отклика не выделяется на фоне его помеховой составляющей. Выбросы отклика по мощности в несколько раз превосходят максимальное значение отклика на ШПС РС, что приводит к невозможности выделения полезной составляющей отклика. Более того, невозможно даже установить наличие полезного сигнала в обрабатываемой аддитивной смеси. Однако когда обработке подвергаются ШПЭ, в качестве которых рассматриваются части спектра ШПС, лежащие за пределами полосы действия мощной СП, то, как показывают нормированные характеристики отклика, представленные на рис. 2, для обоих ШПЭ обеспечивается четкое выделения главного пика на заданной позиции задержки. Компонента аддитивной смеси, соответствующая характеристике (рис. 2, *а*), имеет отношение сигнал/помеха $q^2_{e1} = 1.75$ де-

цибел, а другая компонента (рис. 2, *б*) – 0.2 децибела. Отношение «сигнал/помеха» для максимума отклика ШПЭ увеличивается пропорционально числу дискретных линий M_e, которое включает данный ШПЭ ($h^2_e = q^2_e \cdot M_e$). Из графиков на рис. 2 также видно, что с уменьшением числа дискретных линий в ШПЭ ширина главного пика характеристики отклика возрастает.

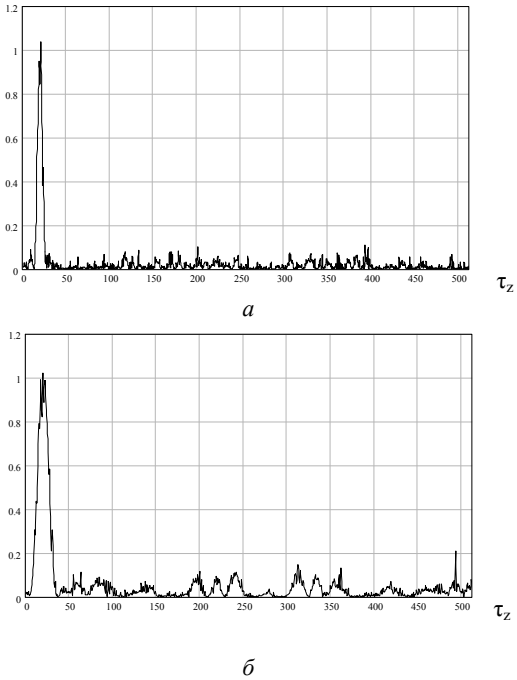


Рис. 2. Зависимости нормированных откликов от задержки при реализации приема ШПЭ для q^2_S = –27 децибел: 72 линии (q^2_{e1} = 1.75 дБ) (*а*); 32 линии (q^2_{e2} = 0.2 дБ) (*б*)

На рис. 3 представлены характеристики откликов ШПЭ для отношения «сигнал/помеха» в полной аддитивной смеси q^2_S = –34 децибела, когда q^2_{e1} = –5.24 децибела, а q^2_{e2} = –6.8 децибела. Они показывают, что несмотря на существенный рост помеховых компонент откликов, главный пик в достаточной степени выделяется, и задача устранения начальной неопределенности по задержке может быть успешно решена, хотя отношение «сигнал/помеха» в откликах значительно ниже уровня,

необходимого для приема дискретной информации (ДИ) только по одному ШПЭ. Следовательно, вполне может быть реализован режим приема нескольких ШПЭ для дальнейшей совместной обработки, обеспечивающей достаточный уровень качества приема ДИ

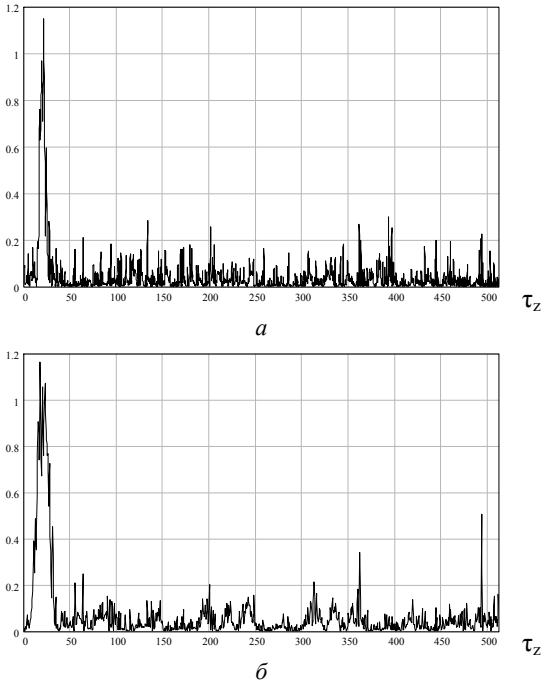


Рис. 3. Зависимости нормированных откликов от задержки при реализации приема ШПЭ для q^2_S = –34 децибел: 72 линии (q^2_{e1} = –5.24 дБ) (*а*); 32 линии (q^2_{e2} = –6.8 дБ) (*б*)

Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что ШПС с равномерным спектром является оптимальным сигналом для систем передачи дискретной информации КВ-диапазона, поскольку он позволяет в максимальной степени адаптироваться к текущим условиям приема в части использования неравномерности потерь полезной информации в различных точках используемой полосы частот. Данная возможность является следствием равноправности спектральных линий этого вида ШПС РС. Равномерность спектра обеспечивает независимость степени влияния поражающих факторов от их положения в полосе

канала и существенно упрощает задачу определения участков поражения мощными СП. ШПС с равномерным спектром не имеет функционального описания во временной области, поэтому он может быть задан только в дискретной частотной области и преобразован во временную область посредством обратного дискретного преобразования Фурье.

Список литературы

1. *Волков, О. А.* Синтез широкополосного сигнала с равномерным спектром / О. А. Волков, И. З. Климов / /Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. – 2014. – № 1 (61). – С. 105–109.

2. Алгоритмы обработки сигналов в радиотехнических устройствах / под ред. И. Б. Федорова. – М. : МГУ, 1989.

УДК 629.78 (045)

А. В. Ворожцов, магистрант
А. С. Вершинин, магистрант
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Телекоммуникационная сеть *SpaceWire*

SpaceWire – активно развиваемая сегодня телекоммуникационная сеть, используемая на борту летательных и космических аппаратов, для построения бортовых систем. Одной из основных целей сетевого стандарта – обеспечение совместимости с различными видами оборудования и многофункциональное использование конечных элементов и подсистем.

Сетевая технология основана на части стандарта соединения IEEE 1355. В сети *SpaceWire* узлы соединяются при помощи последовательных соединений типа «точка – точка», обладающих низкими задержками и работающих в полнодуплексном режиме, и коммутационными роутерами, осуществляющими маршрутизацию способом коммутации каналов [1]. При таком способе коммутации узлы сети могут обмениваться данными между собой посредством маршрутизаторов. Узлы – абоненты сети *SpaceWire* – это устройства, передающие и принимающие потоки данных. Все узлы – линки (*link*) связаны с маршрутизирующим коммутатором или друг с другом дуплексными каналами. Обобщенную структуру сети можно увидеть на рис. 1.

© Ворожцов А. В., Вершинин А. С., 2015

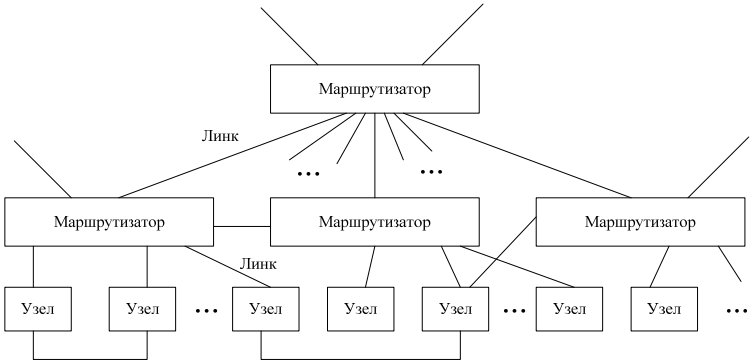


Рис. 1. Обобщенная структура сети *SpaceWire*

Возможности сети *SpaceWire*:

1) Повышение совместимость бортового оборудования с другими подсистемами и устройствами;

2) Упрощение устройств бортовых систем обработки информации;

3) Стимулирование многофункционального использования оборудования обработки данных для решения множества важных задач;

4) Уменьшение затрат интеграции на уровне систем бортового оборудования;

5) Предусмотрена двунаправленная передача данных с коммутацией пакетов;

6) Среда передачи информации – 9-проводной кабель, состоящий из четырех витых пар проводов (каждая витая пара представляет собой дифференцированную электрическую пару, кодирующую один сигнал сигнального уровня) и одного заземляющего провода;

7) Скорость передачи данных – (2–400) Мбит/с. Такая скорость достигается благодаря дуплексным каналы передачи данных, отвечающим требованиям повышенной надежности, независимости от аппаратуры приема-передачи данных и другим аэрокосмическим требованиям;

8) *SpaceWire* обеспечивает взаимодействие датчиков, процессоров данных, процессоров сигналов, модулей памяти, подсистем аппаратной телеметрии и другого электронного оборудования, применяемого на борту аэрокосмических аппаратов;

9) Имеется и защитный экран, который располагается вокруг каждой витой пары и вокург самого кабеля;

10) Каждый элемент сети *SpaceWire* (узел или маршрутизатор) рекомендуется иметь буфер данных. Буфер может быть реализован различными способами: *FIFO*, буфер в памяти конечного узла;

11) Стандарт *SpaceWire* протоколы надежной передачи данных по высокоскоростным дуплексным каналам, отвечающим требованиям космоса.

Существуют два типа маршрутизации:

Статическая: обеспечивает установку постоянного соединения между двумя узлами.

Динамическая: предполагает частое изменение соединения между парами узлов. Для каждого пакета устанавливается свой маршрут.

Маршрутизация в сети *SpaceWire* реализована динамически. Пакеты могут передаваться по сети, образуя различные виртуальные каналы в пределах одного физического канала.

Стандарт *SpaceWire* регламентирует логические протоколы, физические разъемы и кабели, электрические свойства соединений, которые определяют канал связи *SpaceWire,* архитектуру коммуникационной сети и обеспечивают средства передачи пакетов информации от исходного узла до требуемого узла назначения через масштабируемую коммуникационную сеть. Описание работы коммутационной сети на шести уровнях иерархии, которые можно увитеть в таблице. Управляющие коды, формат которых определяется на уровне символов, используются не только для управления потоком данных непосредственно в канале, но и при маршрутизации на сетевом уровне.

Характеристики разработанных датчиков

п/п	Уровень иерархии	Основные функции
1	Сетевой уровень	Маршрутизация пакетов в сетевых узлах; ориентирван на использование «червячной маршрутизации» (*wormhole routing*) пакетов
2	Уровень пакетов	Формат пакетов и метод инкапсуляции данных в пакеты
3	Уровень обмена	Установление и управление соединением точка-точка (урвень звена данных), включая инициализацию канала связи, управления потоком данных, синхронизацию, обнаружение неиправностей и перезапуск соединения
4	Уровень символов	Формирование и кодировка символов данных и управления
5	Сигнальный уровень	Преобразование данных в сигналы линии связи, спецификация их электрических и временных параметров, границ помехоустойчивости и скорости передачи данных в канале
6	Физический уровень	Определяет разъемы, кабели, проводники на печатых платах и технические требования по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС)

Технология *SpaceWire* позволяет перейти систем к интегрированным системам от федеративных бортовых систем. Системы построенным на базе единой коммуникационной среды для всех элементов бортового оборудования. Интегрированные, т. е. встроенные или внедренные ситемы, имеют ряд преимуществ:

– многофункциональное использование элементов бортового оборудования;

– множество ресурсов для всех элементов; такое свойство позволяет перераспределять ресурсы во времени в зависимости от приоретета выполнения задачи в определенный момент времени;

– отсутствует выделения главной задачи в структуре бортовой системы, что облегчает добавление и удаление новых элементов;

– размеры оборудования компактны за счет его многофункционального использования.

Технологию *SpaceWire* признают и поддерживают, а также внедряют в перспективные космические аппараты в Европе, США и Японии. Развивать и внедрять технологию *SpaceWire* в российской космической отрасли стратегически важно, поскольку она способствует обеспечению современных тактико-технических характеристик перспективных российских космических аппаратов. Конкурентоспособности на мировом рынке космических разработок и услуг, развитию международного сотрудничества в космической области с другими странами, совместимости и унификации разработок аппаратуры КА российских предприятий. Технология *SpaceWire* перспективна и в других областях, где используются встроенные распределенные и параллельные информационновычислительные и управляющие комплексы, работающие в реальном времени [2].

В проекте находится канал, позволяющий предавать данные на скоростях до 1 Гбит/с и более. Уже сущуствуют попытки добыться высокоскоростной передачи данных, до 5 Гбит/с в ближайшем будущем. Главное не только скорость обмена информацией, но качество. Телекоммуникационная сеть *SpaceWire* как раз и имеет в себе сочение скорость-качество на высоком уовне. Согласно знаменитой фразе: «Идеи вообще ничего не могут осуществить. Для осуществления идей требуются люди, которые должны употребить практическую силу», – все руках разработчиков, только они способны воплотить идеи в реальность.

Список литературы

1. SpaceWire // Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/SpaceWire (дата обращения: 24.10.2014).

2. Технология SpaceWire для систем и комплексов. – URL: http://multicore.ru/fileadmin/user_upload/mc/publish/SpW-part1.pdf (дата обращения: 23.10.2014).
3. SpaceWire Standard. ECSS – Space Engineering. “SpaceWire – Links, Nodes, Routers and Networks”. ECSS-E-50-12 PRELIMINARY Draft 2.a. 2010 (дата обращения: 24.10.2014).
4. Исследование DS-линков и алгоритм маршрутизации в сети SpaceWire. – URL: http://www.ict.edu.ru/ft/005580/gorb-ds.pdf (дата обращения: 23.10.2014).

УДК 378.14 (045)

Е. М. Зайцева, канд. пед. наук, доцент
О. М. Шабалина, студентка
E-mail: em_zaytseva@yahoo.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Использование средств телекоммуникаций и связи для организации учебной деятельности студентов технического вуза

Средства информационных технологий широко внедряются в учебную деятельность студентов, обучающихся в системе высшего профессионального образования. Так, например, студенты используют широкий спектр программных продуктов для выполнения практических заданий, лабораторных работ, написания рефератов по гуманитарным дисциплинам, выполнения курсовых работ и курсовых проектов, а также для подготовки к итоговой аттестации по дисциплинам.

Возможности сети Интернет позволяют использовать бесплатные версии программных продуктов для организации учебной деятельности, выполнять поиск в базах данных, осуществлять коммуникации, но студенты используют возможности информационных технологий ограниченно в связи с тем, что они недостаточно информированы о том, как оптимизировать свою учебную деятельность с использованием средств телекоммуникаций и связи.

На кафедре «Радиотехника» проведен опрос студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования, основная цель которого выявить причины ограниченного использования средств информационных технологий в процессе обучения. Опрос студентов состоял из следующих этапов:

© Зайцева Е. М., Шабалина О. М., 2015.

1. Составление анкеты;
2. Экспертиза анкеты;
3. Проведение опроса;
4. Обработка результатов анкетирования;
5. Формирование предложений по использованию средств информационных технологий в учебной деятельности студентов;

При составлении анкеты особое внимание уделялось следующим вопросам:

Какие технические средства используются студентами в учебной деятельности?

Используют ли студенты программы в режиме онлайн?

Принцип выбора интернет-браузера.

Какие социальные сети используются студентами для коммуникаций?

Наличие собственных информационных ресурсов и участие в интернет-конференциях.

Анкета разработана студентами в ходе выполнения исследовательской работы при участии преподавателей кафедры «Радиотехника», текст анкеты представлен ниже.

АНКЕТА

1. Какие технические средства связи Вы чаще всего используете в своей учебной деятельности?

А. Персональный компьютер
Б. Ноутбук
В. Смартфон
Г. Сотовый телефон

2. Используете ли Вы социальные сети для организации своей учебной деятельности? (Может быть несколько вариантов ответа.)

А. Не использую
Б. Вконтакте
В. Почта mail.ru
Г. Одноклассники
Д. Facebook
Е. Skype
Ж. Другие_____

3. Имеете ли Вы собственные информационные ресурсы?

А. Веб-страница

Б. Профиль в соцсетях
В. Телеконференция
Г. Не имею
Если Вы являетесь разработчиком веб-страницы, то просим указать цель создания и содержание данной страницы:_____

4. Являлись Вы участником интернет-конференции?
А. Да
Б. Нет

5. Используете ли Вы средства интерактивного общения? (Может быть несколько вариантов ответа.)
А. Не использую
Б. WhatsApp
В. Viber
Г. ICQ
Д. Другое_____

6. Используете ли Вы для учебного процесса программы в режиме онлайн? (Может быть несколько вариантов ответа.)
А. Не использую
Б. Программы-переводчики
В. Математические пакеты
Г. Exel, Word (пакеты компании Microsoft)
Д. Другое_____

7. Какой интернет-браузер Вы используете для поиска учебной информации? Почему?
А. Google
Б. Yandex
В. Internet Explorer
Г. Mozilla Firefox
Д. Opera
Е. Другое_____
Причина:_____
Ваш возраст:

СПАСИБО ЗА УЧАСТИЕ!

Экспертиза анкеты проведена группой преподавателей кафедры «Радиотехника». Проанализированы структура анкеты, последовательность вопросов, формулировки вариантов ответов.

В анкетировании участвовали студенты 1–3-го курсов ИжГТУ имени М. Т. Калашникова в возрасте от 18 до 23 лет. Выборка составила 80 человек. Опрос показал, что технические средства по степени использования распределились следующим образом:

– ноутбук (63 %),
– смартфон (17 %),
– персональный компьютер (17 %),
– сотовый телефон (4 %).

В результате анализа анкет выявлено, что в режиме онлайн студенты используют:

– программы-переводчики (57 %),
– математические пакеты (39 %),
– не использую (7 %),
– другие программы (6 %),
– пакеты компании Microsoft (2 %), т. е. помимо предложенных вариантов студенты указали также:

P-CAD (3 %)

AutoCAD (3 %), результаты представлены на рис. 1.

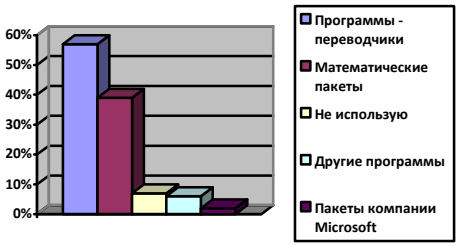


Рис. 1. Программы онлайн

Наиболее часто студентами используются следующие интернет-браузеры:

Google Chrome (68 %);
Yandex (17 %);
Opera (8 %);
Mozilla Firefox (5 %);
Internet Explorer (2 %).

В качестве критериев выбора браузера студенты указали следующие причины: скорость поиска информации, удобный интерфейс, необычный и запоминающийся логотип. Результаты представлены на рис. 2.

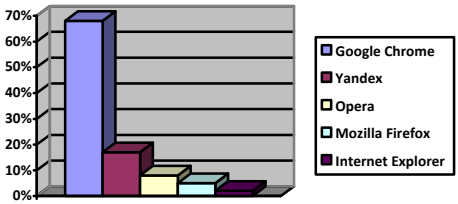


Рис. 2. Интернет-браузеры

По итогам анкетирования выявлено, что в качестве средств интерактивного общения студенты предпочитают:

– программы, не входящие в предложенные варианты, а именно:
СМС (43 %),
Message (9 %),
Telegram (3 %);
– WhatsApp (29 %)
– Не использую (24 %)
– Viber (24 %)
– ICQ (11 %).

Результаты анализа представлены на рис. 3.

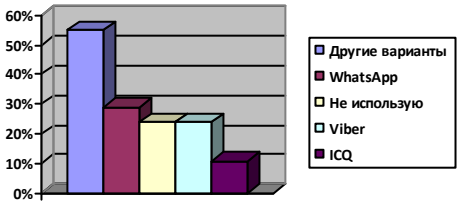


Рис. 3. Средства интерактивного общения

Также результаты опроса дали информацию о том, какие социальные сети студенты чаще всего используют в своей учебной деятельности:

Вконтакте (91 %),
Почта mail.ru (44 %),
Skype (29 %),

Не использую (5 %),

Одноклассники (2 %).

Обработка результатов выполнена с использованием программы *Microsoft Exel*. Анализ анкетирования показал, что студенты ограниченно используют средства информационных технологий, выявлено, что малый процент студентов участвовал в интернет-конференциях и имеют о них представление. Студенты не видят смысла в разработке собственных веб-страниц, имеют узкое представление об интерактивном общении.

Таким образом, по результатам исследования предлагается провести на кафедре «Радиотехника» семинары для студентов по следующим темам:

– создание веб-страниц;

– изучение возможностей интернет-браузеров;

– современные средства интерактивного общения;

– программы схемотехнического моделирования.

Серия семинаров, которая предложена выше, планируется для проведения в 2014– 2015 гг. для обеспечения повышения качества подготовки студентов в техническом университете.

УДК 621.391

Н. А. Зайцева, студентка
А. И. Нистюк, д-р техн. наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Синтез многозвенных фильтров по частотным спектрам

Задачи синтеза параметров многозвенных фильтров требуют формализованных и понятных для представления методов описания и расчета сложных структур.

Синтез по частотному спектру с учетом потерь усложняет задачу, поскольку у характеристического полинома (ХП) появляются комплексно-сопряженные корни.

Под синтезом фильтра будем понимать выбор таких коэффициентов системной (передаточной) функции, при которых характеристики синтезированного фильтра удовлетворяют заданным требованиям. Это особенно актуально при реализации фильтров в аппаратном виде (в виде специализированных больших интегральных схем или цифровых сигнальных процессоров).

© Зайцева Н. А., Нистюк А. И., 2015.

Синтез фильтра состоит из следующих этапов:

1. Решение задачи аппроксимации с целью определения коэффициентов фильтра и системной функции, удовлетворяющей конкретным требованиям.

2. Выбор схемы построения фильтра, т. е. преобразование системной функции в конкретную структурную схему фильтра.

3. Оценка эффектов квантования.

4. Проверка методами моделирования на соответствие заданным требованиям.

Также существуют минимальные технические требования для синтеза фильтров:

1. Вид АЧХ.

2. Полоса пропускания, для ФНЧ и ФВЧ – частота среза.

3. В полосе пропускания: неравномерность, либо минимальный коэффициент передачи, либо максимальное затухание.

4. Полоса заграждения.

5. В полосе заграждения: максимальный коэффициент передачи, либо минимальное затухание.

6. Переходная область.

Актуальность вопроса рационального расположения частот свободных колебаний связана, во-первых, при обеспечении резонансных режимов, во-вторых, при расстройке резонансного режима. Обе задачи трудоемки для многозвенных фильтров, особенно с учетом практической реализации, при которой возникают паразитные связи. Традиционно для их решения вычисляются значения корней характеристического полинома многомерной системы дифференциальных уравнений. Во избежание трудоемких вычислений, требующих вычислительных ресурсов, создан ряд методов, позволяющих отстраивать спектры собственных частот и частот возбуждения без определения вектора собственных значений.

В большинстве работ, посвященных вопросам синтеза параметров систем по частотным спектрам, системы рассматриваются как консервативные, и, соответственно, собственные значения являются действительными числами.

Для решения задачи синтеза параметров фильтра по частотным спектрам используем топологические методы описания и проведем анализ характеристического полинома и его частотных характеристик [2].

В качестве критерия отстройки используем условие (1). Это сведет задачу синтеза по частотным спектрам к вычислению числа корней ХП, лежащих в требуемых частотных интервалах.

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{M} m_{ij} = 0 \quad , \qquad (1)$$

где m_{ij} – число корней ХП, $y_r \in (\alpha_{ij},\ \beta_{ji})$.

В качестве функции цели зададим следующую функцию:

$$\Phi(U) = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{M} m_{ji} \quad . \qquad (2)$$

Тогда решением поставленной задачи будет являться вектор параметров U, для которого функция цели $\Phi(U)$ примет минимальное значение.

Функция цели (2) обладает некоторыми свойствами:

– функция всегда положительная и целочисленная;

– функция может принимать значения 0, 1, 2, ..., n;

– минимальное значение функции априори равно нулю;

– функция цели принимает свое минимальное значение в некоторой области, а не в одной точке.

Регулярные методы поиска минимума функции (2) (градиентный, наискорейшего спуска и другими) в виду дискретного ее характера неприменимы. Простейшим методом в данной ситуации будет являться метод, названный ЛП-τ поиском [4]. К тому же метод эффективен в случае влияния многих параметров.

Рассмотрим вычисление числа корней в заданном частотном интервале с помощью логарифмической производной [6]

$$F(p) = D'(p)/D(p) = \sum_{r=1}^{n} 1/(p - p_r) \quad . \qquad (3)$$

Алгоритм неплохо работает при кратных и близких корнях ХП. Каждый корень вносит свой независимый вклад в общее значение, при вычислении особенностей не возникает.

К недостатку данного подхода относится плохая сходимость. Такая ситуация возникает, когда мнимая часть корней ХП близка к границам заданного интервала

$$\frac{y_r - \alpha}{(\lambda - x_r)^2 + (y_r - \alpha)^2} \to \infty \quad . \qquad (4)$$

В случае возникновения такой ситуации достаточно раздвинуть границы интервала возбуждения и снова решать задачу для вновь созданного интервала. Если и в этом случае получается неудовлетворительный результат, можно вычислять число корней ХП с помощью следующего алгоритма, основанного на принципе приращения аргумента.

Тогда [1]

$$m_G = \frac{1}{2\pi} \operatorname{var} \arg D(p), \tag{5}$$

где m_G – число корней многочлена $D(p)$ внутри замкнутого контура G.

Все представленные вычисления функции $\Phi(U)$ основывались на вычислении числа корней внутри бесконечной полосы комплексной плоскости. Чтобы уменьшить объем вычислений, можно ограничить рассматриваемые области. Рассмотрим образование замкнутого контура (рис. 1). Мнимые части корней находятся на частотной оси комплексной плоскости. Зоны возбуждения задаются интервалами, определяемые прямыми $\omega = \alpha$ и $\omega = \beta$.

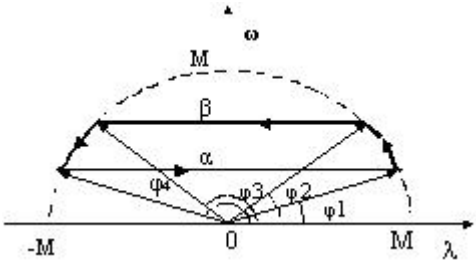


Рис. 1. Замкнутый контур, образованный частотными интервалами α и β и окружностью с радиусом M

Ограничим область расположения корней многочлена [5] верхней границей M модулей корней полинома

$$M = 1 + \frac{|A|}{a_0} \tag{6}$$

где $|A| \max_i a$, $i = 1, 2, ..., n$.

При положительных коэффициентах ХП границы действительных и мнимых частей корней оцениваются неравенствами

$$-x_r < \max_{1 \le i \le n} \left(\frac{a_i}{a_{i-1}}\right), \quad y < \max_{1 \le i \le n} \left(\frac{a_i}{a_{i-1}}\right). \tag{7}$$

Таким образом, можно ограничить области расположения корней и рассматривать только несколько замкнутых областей комплексной плоскости. Кроме этого, можно наложить дополнительные ограничения

на области расположения корней, связанные с колебательностью системы, со степенью устойчивости системы и т. д.

Таким образом, в работе рассматривается функция цели, позволяющая проводить синтез многозвенных фильтров по частотным спектрам с учетом потерь. Представлено математическое обоснование возможности синтеза на основе введенной функции цели. Поскольку минимум целевой функции априори известен, известно к чему стремиться. Целочисленность целевой функции задает точность вычислений. Представлен общий алгоритм конструирования модели и синтеза многозвенных фильтров. Алгоритмы основаны на использовании теории функций комплексного переменного и алгебраических критериев. Рассмотренные алгоритмы, по сравнению с непосредственным вычислением корней характеристического полинома, позволяют решать задачу синтеза многозвенных фильтров по частотным спектрам с меньшими вычислительными затратами.

Список литературы

1. Методы спектрального синтеза элементов точной механики и электроники с помощью ЭВМ / А. И. Нистюк [и др.] : материалы Междунар. науч. коллоквиума. – Ильменау, 1983. – С. 125–128.

2. *Нистюк, А. И.* Оптимизация параметров лентопротяжных механизмов при синтезе по частотным спектрам // Вибротехника. – 1987. – № 2(55). – С. 47–55.

3. *Нистюк, А. И.* Синтез лентопротяжных механизмов по частотным спектрам как диссипативных колебательных систем : дис. … канд. техн. наук. – Ижевск, 1983. – 225 с.

4. *Гринкевич, В. К.* Исследование статистическими методами влияния параметров динамической системы на спектр собственных частот / В. К. Гринкевич, Р. Б. Статников. – Машиноведение, 1970. – № 4. – С. 3–9.

5. *Чернецкий, В. И.* Математические методы и алгоритмы исследования автоматических систем / В. И. Чернецкий, Г. А. Дидук, А. А. Потапенко. – Л. : Энергия, 1970. – 374 с.

6. *Мелкумянц, О.* Анализ систем методом логарифмической производной. – М. : Энергоиздат, 1981. – 112 с.

УДК 621.396

Р. И. Исламов, магистрант
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Решение задач обеспечения внутриобъектовой электромагнитной совместимости в программных средствах

На этапах проектирования или модернизации сложных радиокомплексов встает задача проверки электромагнитной совместимости составных радиоэлектронных средств (РЭС). Современные тенденции уменьшения физических размеров радиокомплексов и повышения их интеграции влечет за собой еще большее ужесточение требований к электромагнитной совместимости (ЭМС) [1–4].

При рассмотрении таких задач обычно требуется учитывать следующие факторы: 1) влияние других технических средств (низковольтное и высоковольтное оборудование, линии электропитания, системы передачи сигналов и др.); 2) влияние передаваемых сигналов (помех, наводок); 3) учет некачественного заземления; 4) колебания в сетях питания (прерывания напряжения питания, провалы, скачки, наличие постоянных составляющих в напряжении питания).

С точки зрения анализа ЭМС все основные виды помех, вызванные перечисленными выше факторами, удобно разделять на 2 группы: низкочастотные и высокочастотные помехи.

Среди низкочастотных помех выделим следующие: гармоники и интергармоники напряжения электропитания; напряжения сигналов, передаваемых в системах электропитания; колебания напряжения питания; провалы, кратковременные прерывания и выбросы напряжения электропитания; отклонения напряжения электропитания; несимметрия напряжений в 3-фазных системах электроснабжения; изменения частоты питающего напряжения; наведенные низкочастотные напряжения; постоянные составляющие в сетях электропитания переменного тока.

Среди высокочастотных помех требуется анализ: наведенных напряжений или токов при работе мешающих РЭС; высокочастотных апериодических и колебательных переходных процессов и других.

После анализа действия всех потенциальных помех встает задача обеспечения ЭМС в нормативных режимах работы радиокомплекса. Для этого могут быть использованы четыре варианта решений: 1) частотно-территориальный разнос РЭС (при этом расположение радиоаппаратуры

© Исламов Р. И., 2015

должно не только уменьшать взаимные паразитные электромагнитные связи, но и обеспечивать эргономические требования); 2) установка экранов на элементы и узлы РЭС, между стойками, на передающие кабели и контрольные приборы; 3) фильтрация широкополосных помех, подавление низкочастотных помех сети питания, устранение связей по высокой частоте, подавление зеркального канала и внеполосных помех; 4) защита от электростатических и молниевых разрядов и других видов естественных помех.

При этом для обеспечения ЭМС сложных радиокомплексов требуется: 1) определение электромагнитной обстановки по стандартизированным методикам: расчетным путем или экспериментальными методами на существующих объектах; 2) улучшение (при необходимости, по результатам расчетов, моделирования, экспериментов) электромагнитной обстановки объекта; 3) обеспечение определенного уровня помехоустойчивости аппаратуры, позволяющего применять ее в некоторой «усредненной» электромагнитной обстановке, определение допустимого уровня электромагнитных помех, при котором обеспечивается функционирование РЭС в составе комплекса; 4) анализ компоновки, заземление узлов, стоек, кабелей.

Таким образом, проблема обеспечения внутриобъектовой ЭМС сложных радиокомплексов относится к направлению системного анализа и предполагает использование большого числа разнообразных методик анализа, объединенных единым предназначением. В современных условиях среди этих методик все большую значимость приобретают методики исследования ЭМС, включаемые в стандартные сертифицированные программные продукты.

При использовании программных средств для анализа и моделирования обычно применяется «методика пяти этапов», в соответствии которой на первом этапе определяются задачи исследования. Второй этап состоит в сборе данных об источнике и рецепторе помех, а также путей их взаимодействия. Следующий этап характеризуется выполнением анализа с использованием соответствующих методов и моделей. Далее результаты анализа приводят либо к утверждению «допустимо», либо к проведению мер ослабления взаимодействия. На последнем этапе проводится подтверждение изменений.

Измерения тем точней, чем правильней выбраны методы. Для выбора соответствующего метода можно воспользоваться алгоритмом, представленным на рис. 1.

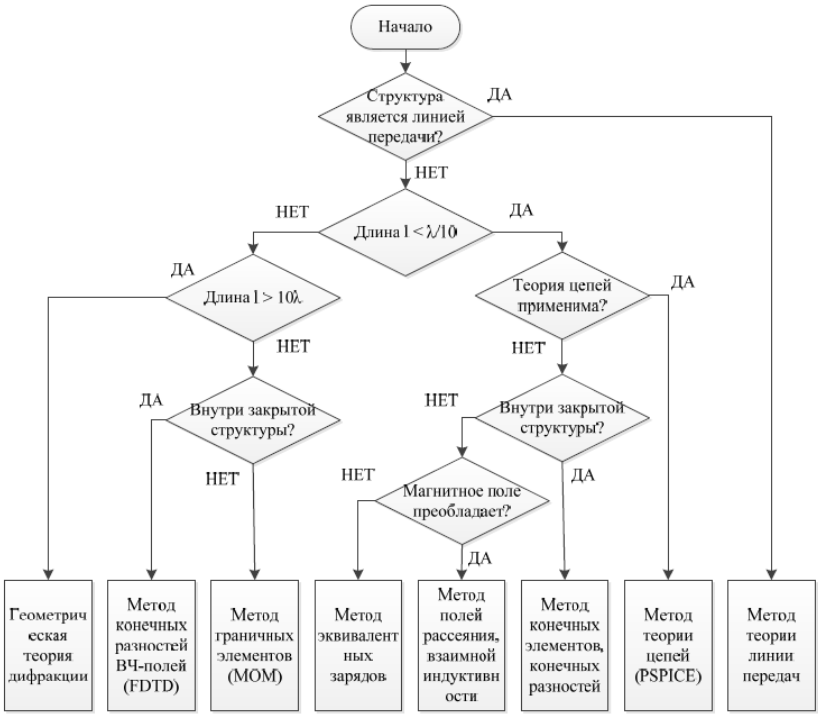


Рис. 1. Схема алгоритма выбора численного метода

На сегодня доступно несколько мощных программных средств, использующих при вычислении не только вышеперечисленные методы, но и при необходимости гибридные. Кратко охарактеризуем некоторые из них.

HyperLinx – средство анализа целостности сигналов и ЭМС, включающее в себя следующие продукты, позволяющие представить узел в виде эквивалентной схемы, элементы которой представляются соответствующими *IBIS*-моделями и моделями линии передачи. Результаты анализа позволяют конкретизировать требования к топологии и передать их в систему проектирования. Так же присутствует средство расчета полных сопротивлений проводников, оценки степени согласования их с нагрузкой и оптимизации топологии для решения проблемы целостности сигналов.

ANSYS HFSS – мощный пакет программ, используемый для разработки антенн, сложных элементов ВЧ/СВЧ-схем, вычисляющий электро-

магнитные поля для пассивной трехмерной структуры произвольной формы.

CST Microwave Studio – представляет собой программу, предназначенную для быстрого и точного численного моделирования высокочастотных устройств (антенн, фильтров, ответвителей мощности, планарных и многослойных структур), а также электромагнитной совместимости во временной и частотных. Если установка экранирующих и/или фильтрующих элементов является актуальной, можно провести анализ их конструкций, места расположения и фиксации.

АСОНИКА – автоматизированная система предназначенная для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий. С помощью системы осуществляется автоматизированное проектирование и комплексное компьютерное моделирование РЭС подвижных объектов.

ELCUT – это мощный современный комплекс программ для инженерного моделирования электромагнитных задач методом конечных элементов. Применяется для моделирования магнитостатики, синусоидальных и нестационарных магнитных полей, электрических полей постоянных и переменных токов.

Компьютерное моделирование и численный анализ позволяют избежать дорогостоящих и длительных натурных испытаний радиокомплексов и их модулей, ускоряет, дополняет и иллюстрирует процесс проектирования и разработки.

Список литературы

1. *Уилльямс Т.* ЭМС для разработчиков продукции. – М. : Технологии, 2003.

2. *Жежеленко И. В.* Электромагнитная совместимость потребителей / И. В. Жежеленко, А. К. Шидловский. – М. : Машиностроение, 2012. – 351 с.

3. *Винников В. В.* Оновы проектирования РЭС. Электромагнитная совместимость и конструирование экранов. – СПб. : Изд-во СЗТУ, 2006. – 174 с.

4. Технологии электромагнитной совмечтимости. – URL: http://emc-journal.ru/ (дата обращения: 28.05.2015).

УДК 621.396

В. А. Калугин, магистрант
К. В. Шишаков, канд. физ.-мат. наук, доцент
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Методика исследования внутриобъектовой электромагнитной совместимости сложных радиокомплексов

В данной статье рассматриваются основные вопросы исследования и анализа электромагнитной совместимости (ЭМС) для наземных радиоэлектронных средств (РЭС) в интересах создания структурированной системы обеспечения ЭМС [1–3].

В задачах ЭМС на выходе антенны радиопередатчика (РПД) требуется учитывать различные неосновные (нежелательные) излучения (рис. 1). Они могут быть мешающими для приемников других РЭС, создавая им непреднамеренные помехи и ухудшая ЭМС РЭС.

Рис. 1. Классификация излучений РПД

Основное излучение занимает некоторую необходимую полосу частот $B_н$ (рис. 2.), предназначенную для передачи полезного радиосигнала. Все другие (неосновные) излучения, расположенные за пределами основного (рабочего) участка радиочастотного спектра $B_н$, являются нежелательными.

Оценка ЭМС РЭС в общем случае предусматривает учет вероятностного и детерминированного характера электромагнитной обстановки на объекте исследования.

© Калугин В. А., Шишаков К. В., 2015

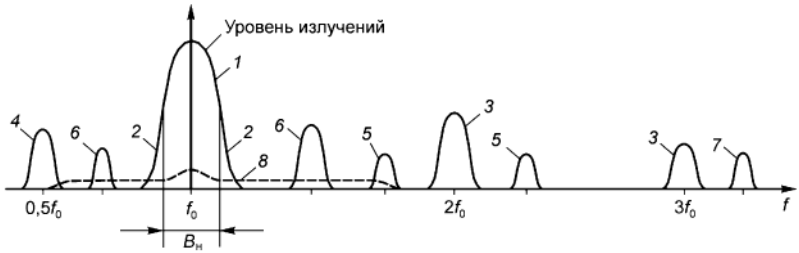


Рис. 2. Спектр плотности мощности радиоизлучений РПД: *1* – основного; *2* – внеполосного; *3* – на гармониках; *4* – на субгармониках; *5* – комбинационного; *6* – интермодуляционного; 7 – паразитного; 8 – шумового

При анализе внутрнобъектовой ЭМС РЭС используют следующие виды оценок: парная, групповая и комплексная. Парная оценка ЭМС предполагает исследование воздействия помех РПД одного РЭС на радиоприемник (РПМ) другого РЭС; при групповой оценке – исследуется воздействие помех всех РПД на один РПМ. При комплексной оценке ЭМС анализируется совместимость каждого РЭС объекта со всеми остальными РЭС этого объекта.

Анализ ЭМС РЭС, расположенных на одном объекте, включает в себя следующие этапы расчета:

1) частотный анализ;

2) расчет мощности радиопомехи, воздействующей на РПМ;

3) расчет допустимой мощности непреднамеренной радиопомехи на входе РПМ;

4) расчет частот и уровней интермодуляционных излучений РПД;

5) расчет внеполосных характеристик антенн.

Частотный анализ является начальным этапом оценки ЭМС и включает выявление частотных каналов проникновения непреднамеренных радиопомех в РПМ. Непреднамеренная радиопомеха проникает на вход РПМ при выполнении неравенства:

$$\left| pf_j - (n/m) f_i - \eta f_{i\text{пч}}^{(1)} (n+\eta)/m \right| \le \frac{\left[\Delta f_{jX}(p,m) + \Delta f_{jX} \right]}{2}, \qquad (1)$$

где $p = 1, 2, 3, \ldots, p_{\max}$ – номер гармоники несущей частоты РПД; f_j – несущая частота РПД j-го РЭС, Гц; $n = 1, 2, 3, \ldots, n_{\max}$ – номер гармоники частоты гетеродина РПМ; $m = 1, 2, 3, \ldots, m_{\max}$ – номер побочного канала приема; f_i – частота настройки РПМ i-го РЭС, Гц; η – признак настройки гетеродина приемника, равный 1 для верхней настройки и минус 1 для нижней настройки гетеродина; $f_{i\text{пч}}^{(1)}$ – первая промежуточная частота i-го

РПМ, Гц; $\Delta f_{jX}(p, m)$ – полоса частот радиоизлучения j-го РЭС на p-й гармонике и уровне X дБ в побочном канале приема, Гц; Δf_{jX} – полоса пропускания усилителя промежуточной частоты РПМ i-го РЭС на уровне X дБ, Гц.

Частоты интермодуляционных излучений определяют по формуле:

$$f_{\text{инт}} = \pm m f_1 \pm n f_2 \pm \ldots \pm p f_X, \tag{2}$$

где $f_1, f_2, \ldots, f_X$ – частоты РПД объекта; m, n, p – положительные целые числа.

Интермодуляция в РПМ возникает при условиях:

$$\left| \pm p_1 f_1 \pm p_2 f_2 \pm \ldots \pm n f_{i\Gamma} \right| \le \frac{\left[\eta f_{i\text{пч}} \pm \Delta f_{jX} \right]}{2}, \tag{3}$$

где $f_1, f_2, \ldots, f_i$ – частоты мешающих сигналов, номера гармоник мешающих сигналов; $f_{i\,\Gamma}$ – частота гетеродина j-го РПМ, Гц.

Расчет мощности радиопомехи на входе РПМ. Мощность радиопомехи P_{ij} в ваттах от j-го РПД на входе i-го РПМ определяется при расположении антенны i-го РПМ в дальней или ближней зонах антенны j-го РПД соответственно по формуле:

$$P_{ij} = \begin{cases} P_j \left[\frac{G_{ji} G_{ij} \lambda^2}{(4\pi r)^2} K_1 K_2 K_3 K_4 + K_{\text{ф}} \right] & \text{при } r \ge 10\lambda_{j\,\text{п}}, \\ P_j \left[K_{\text{разв ант}} K_3 K_4 + K_{\text{ф}} \right] & \text{при } r \le 10\lambda_{j\,\text{п}}, \end{cases} \tag{4}$$

где P_j – мощность излучения j-го РПД, Вт; G_{ji} – коэффициент усиления антенны (на частоте помехи) j-го РПД (источника помех) в направлении i-го РПМ (рецептора помех); G_{ij} – коэффициент усиления антенны (на частоте помехи) i-го РПМ (рецептора помех) в направлении i-го РПД (источника помех); $\lambda_{j\,\text{п}}$ – длинна волны непреднамеренной радиопомехи, м; r – расстояние между антеннами; K_1 – коэффициент дополнительных потерь при распространении радиопомехи между антеннами РПД и РПМ, $0 < K_1 < 1$; K_2 – коэффициент ослабления радиопомехи за счет несовпадения поляризаций, $0 < K_2 < 1$; K_3 – коэффициент ослабления радиопомехи в АФУ i-го РПМ, $0 < K_3 < 1$; K_4 – коэффициент ослабления радиопомехи в АФУ j-го РПД, $0 < K_4 < 1$; $K_{\text{ф}}$ – коэффициент развязки антенн i-го РПМ и j-го РПД, $0 < K_{\text{ф}} < 1$; $K_{\text{разв.ант}}$ – коэффициент развязки антенн i-го РПМ и j-го РПД, в том числе и ближней зоне $0 < K_{\text{разв.ант}} < 1$.

Приведенную ко входу РПМ мощность радиопомехи $P_{ij\,\text{пр}}$ вычисляют по формуле:

$$P_{ij\,\text{пр}} = P_{ij} K_5 K_6, \tag{5}$$

где P_{ij} – мощность радиопомехи на входе i-го РПМ, Вт; K_5 – коэффициент ослабления воздействия радиопомехи за счет частотного разноса; K_6 – коэффициент ослабления воздействия радиопомехи за счет ее проникновения по побочным каналам приема.

Допустимую мощность радиопомехи $P_{i\,\text{доп}}$ на входе i-го РПМ при детерминированной оценке качества функционирования РЭС вычисляют по формуле:

$$P_{i\,\text{доп}} = P_{i\,\text{с}} - A, \tag{6}$$

где $P_{i\,\text{с}}$ – средняя мощность полезного сигнала на входе РПМ i-го РЭС, дБ·Вт; A – требуемое защитное отношение средних значений мощностей сигнала и помехи для конкретного сочетания видов сигнала и помехи, дБ.

Перечисленные направления расширенного анализа паразитных радиоизлучений составляют основу методики исследования внутриобъектовой электромагнитной совместимости сложных радиокомплексов.

Для анализа ЭМС РЭС сложных радиокомплексов также можно использовать автоматизированные программные комплексы. Моделирование ЭМС РЭС, действующих в диапазоне частот от 30 МГц до 40 ГГц и расположенных локальном объекте (крыше здания, мачте, радиотелевизионной башне) можно проводить с помощью программного комплекса «Эксперт ЭМС», разработанной НПК «СвязьСервис».

Программа позволяет произвести расчет помех по основному и соседнему радиоканалам приема, по побочным каналам, интермодуляции, блокирования и побочных гармонических радиоизлучений, частота которых в целое число раз превышает частоту основного радиоизлучения. В демо-версии программы разработчиками создана группировка РЭС состоящая из пятнадцати ПРД и десяти ПРМ различных типов: фиксированных служб, ТВ, подвижной.

Критерием ЭМС РЭС является условие $P_{\text{изб}} < 0$, где помеховая избыточность $P_{\text{изб}}$ – превышение уровня помехового воздействия над допустимым уровнем. Соответственно, $P_{\text{изб}} > 0$ означает, что уровень помехи превышает допустимый уровень и ЭМС пары устройств не обеспечивается.

С помощью программы «Эксперт ЭМС» был проведен анализ ЭМС всей группировки передающих антенн и всенаправленной приемной антенне фирмы Kathrein (на рис. 3 – GSM-2), работающей на частоте 892 МГц.

Результатом исследования является возникновение на входе ПРМ помех интермодуляции (ИМ), блокирования (БЛ), а также помех, поступающих по соседнему радиоканалу (СК). Источниками блокирующих помех являются антенны типов «Сиваш» (на рис. 3 – ТВ-63циф, ТВ-68циф) и «А5 UHF» (на рис. 3 – ТЕТРА-1). Интермодуляционные составляющие возникли от РПД ТВ-68циф и ТВ-63циф с рабочими частотами 850 МГц, 810 МГц и порядками интермодуляции 2, минус 1 соот-

ветственно. В соседний канал ПРМ попадают излучения РПД ТВ-68циф и ТВ-63циф с отстройками по частоте 42 МГц и 82 МГц.

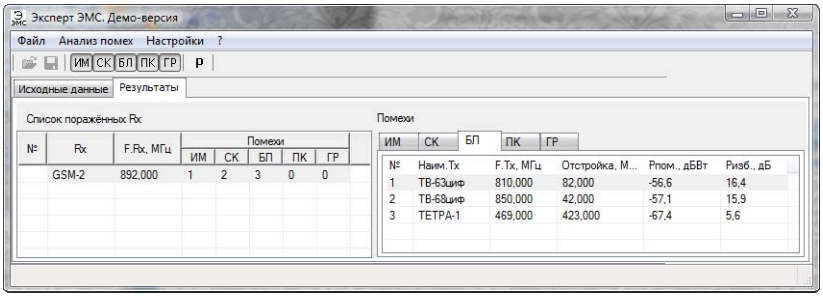


Рис. 3. Значение помехи блокирования на входе ПРМ

Список литературы

1. *Быховский М. А*. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем / под ред. М. А. Быховского. – М. : Эко-Трендз, 2006. – 376 с.

2. *Уильямс Т.* ЭМС для разработчиков продукции / пер. с англ. под ред. В. С. Кармашева, Л. Н. Кечиева. – М. : Издат. дом «Технологии», 2004. – 540 с.

3. Программный комплекс анализа электромагнитной совместимости РЭС на локальном объекте. Эксперт ЭМС. Руководство пользователя демо-версией. Версия 2.5 // НПК «СвязьСервис». – URL: http://www.comm-serv.ru/ (дата обращения: 03.10.2014).

УДК 621.391

А. П. Караваева, *Л. Д. Ахатова*, студент
А. И. Нистюк, д-р техн. наук, профессор
М. М. Павлова, ст. преподаватель
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Аппаратно-программный телекоммуникационный комплекс безопасности пешеходного перехода

Смертность на дорогах России с начала 2014 г. выросла более чем на 7 %. С января по май 2014 г. в России произошло 65,7 тыс. аварий – на 3,2 % больше, чем в 2013 г. Госавтоинспекция в статистике учитывает

© Караваева А. П., Ахатова Л. Д., Нистюк А. И., Павлова М. М., 2015

только ДТП с пострадавшими, мелкие происшествия в отчетность не попадают. Количество погибших в ДТП – 8,4 тыс. (рост +7,2 %), число раненых – 82,8 тыс. (рост +1,8 %) [4].

Отсюда разработка автоматизированных систем, направленных на повышение безопасности на дорогах, является актуальной задачей.

Существует множество автоматизированных аппаратно-программных комплексов, таких как «Поток», «Авто-Инспектор», «Интегра-Видео-Авто» и др. [1–3], которые предназначены для идентификации государственных регистрационных знаков автомобилей. Системы разработаны для использования на крупных автомобильных магистралях, небольших автодорогах, на въездах и выездах на охраняемые территории или автостоянки и во многих других случаях. Анализ видеоизображения транспортных потоков в режиме реального времени может использоваться для определения интенсивности дорожного движения и наблюдения за пробками в местах их образования.

Для городов разработаны более глобальные системы – «Электронный город», «Умный перекресток», – обладающие интеллектом, возможностью удаленного мониторинга и контроля объектов. Кроме распознавания номеров государственной регистрации транспортных средств, системы фиксируют превышение скоростного режима, пересечение стоп-линий на запрещенный сигнал светофора, превышение скоростного режима, проезд на красный свет, запрещенное перестроение, движение по полосе встречного направления и другие нарушения. Системы могут производить обмен данными о нарушениях с неограниченным количеством клиентов, которые могут подключаться через любой канал данных (*GSM*, *Wi-Fi*, *Ethernet*, *WiMAX*, оптоволокно) и получать по запросу любую требуемую информацию из базы данных о нарушениях.

В последнее время добавляются новые технологии, связанные с системами спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/*GPS* в целях мониторинга автомобильных транспортных средств, используемых для коммерческих перевозок пассажиров и опасных грузов. Мониторинг транспортных средств с помощью спутниковой навигации осуществляется путем получения информации от телематического терминала, установленного на транспортном средстве, через спутник, на экран рабочего места оператора.

Также существуют системы распознавания лиц в местах массового пребывания людей или в людском потоке, в метро, на вокзалах, аэропортах [5]. Такие системы предназначены для идентификации лиц и сравнения их с заданными.

Но не в одной из систем не предусмотрена констатация нарушений на обозначенном пешеходном переходе. По мнению главы ГИБДД Рос-

сии, количество пешеходных переходов необходимо сократить [6], поскольку, согласно статистике, в 2013 г., число аварий на «зебрах» увеличилось на 4 %. По его мнению, это приведет к сокращению числа ДТП на переходах.

Предлагается другой подход, а именно – фиксация нарушения на обозначенном пешеходном переходе и передача информации о нарушении в Центр регистрации ГИБДД.

Как известно из ПДД, водитель транспортного средства, приближающегося к нерегулируемому пешеходному переходу, обязан снизить скорость или остановиться перед переходом, чтобы пропустить пешеходов, переходящих проезжую часть или вступивших на нее для осуществления перехода (рис. 1).

Из вышесказанного можно сформулировать требования к аппаратно-программному комплексу. Система должна:

– быть интегрированной в комплексную систему безопасности, иметь настройки сценариев взаимодействия с их компонентами;

– регистрировать нарушения на любом, обозначенном знаками или разметкой, пешеходном переходе;

– иметь возможность формирования отчетов и протоколов о нарушениях;

– формировать единую базу данных для хранения результатов, поступающих от всех каналов приема информации о нарушении.

Подобные системы строятся на алгоритмах полутонового анализа изображений, которые обеспечивают улучшенное распознавание объектов; на корреляционных алгоритмах, которые гарантируют распознавание малоконтрастных объектов; алгоритмах уточнения положения автомобиля и пешехода относительно зоны обозначенного перехода и границ дороги.

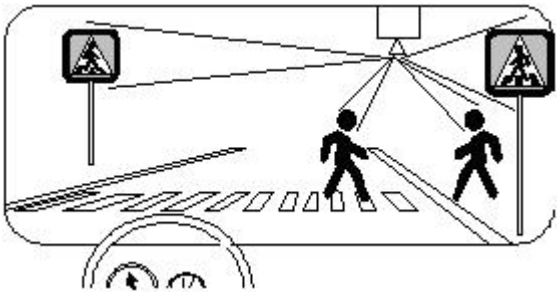


Рис. 1. Объекты пешеходного перехода

Обработка должна проходить в следующем порядке (рис. 2):

1. Поступающее изображение с видеокамеры постоянно обрабатывается на предмет наличия знака «пешеходный переход» и (или) разметки типа «зебра».

2. Если локализация прошла, происходит обработка изображения на предмет наличия потенциального пешехода.

3. Если потенциальный пешеход обнаружен, определяются координаты автомобиля, пешехода, пешеходного перехода и его границы.

4. Если в момент нахождения пешехода в границах перехода там же находится автомобиль, происходит запись изображения и служебной информации.

5. Накопленные данные передаются на ближайший пункт съема информации по каналу связи в Центр автоматизированной фиксации административных правонарушений.

Одновременно решается задача определения координат пешеходных переходов, реестр их количества, качества содержания, статистики нарушений. Предложенный алгоритм технически реализуется и вписывается в концепцию безопасности. В дальнейшем, имея изображения пешехода, можно составлять его биометрический портрет, что позволит не только регистрировать нарушение, но и идентифицировать пешехода.

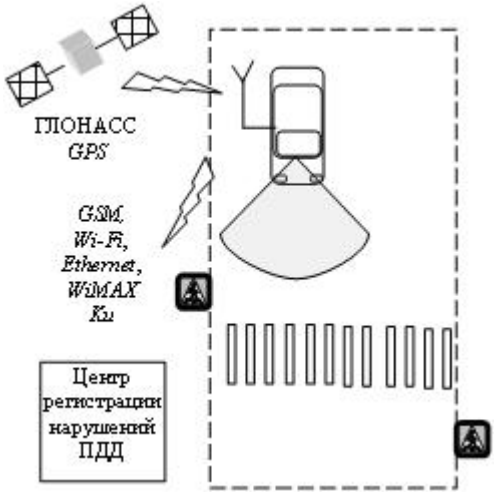


Рис. 2. Схема системы безопасности

Список литературы

1. Автозащитник. – URL: http://www.prav-net.ru/sistema-potok-cistema-raspoznavaniya-avtomobilnyx-nomerov/ (дата обращения: 20.10.2014).

2. *Куделькин В. А.* Система рапсознавания номеров «Интегра-Видео-Авто». – URL: http://www.secuteck.ru/articles2/kompleks_sys_sec/sistema_ raspoznovania_ nom (дата обращения: 20.10.2014).

3. Система видеонаблюдения // Техническая безопасность. Системы контроля и управления движением автотранспорта. – http://www.rssecurity.ru/device/video_auto_sistem.php (дата обращения: 20.10.2014).

4. URL: http://www.vitki.org (дата обращения: 20.10.2014).

5. VOCORD. Системы виделнаблюдения и аудиорегистрации. – URL: http://www.vocord.ru/catalog/products/sistemy-videonablyudeniya/ (дата обращения: 20.10.2014).

6. *Орехова Анна.* Количество ДТП на «зебре» растет, поэтому переходы надо убирать. – URL: h ttp://gorodkirov.ru/content/article/kolichestvo-dtp-na-zebre-rastet-poetomu-perehodyi-nado-ubirat-20140414-1108/ (дата обращения: 20.10.2014).

УДК 681.583

О. С. Карпов, *О. И. Васильев*, студенты
А. И. Нистюк, д-р техн. наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Адаптивный пользовательский интерфейс для мобильных устройств с сенсорным экраном

Формирование и развитие системы «человек – машина», как и развитие науки и техники, обусловлено необходимостью повышения эффективности труда и последующей оптимизацией деятельности человека.

С развитием научно-технического прогресса в области автоматизации систем управления было разработано множество различных пользовательских интерфейсов «человек – машина» [1–5]. На фоне высокой популярности мобильных устройств с сенсорным экраном появилась необходимость в совершенствовании графического интерфейса управления.

Интерфейс управления является неотъемлемой частью любой системы, ориентированной на конечного пользователя. Основное назначение пользовательского интерфейса – это обеспечение процесса взаимодействия пользователя и системы, выполняющей различные задачи в виде прикладных программ. Задачами данного взаимодействия является пе-

© Карпов О. С., Васильев О. И., Нистюк А. И., 2015

редача входных данных пользователя системе и обратная передача результатов работы системы пользователю [1].

Современные информационные системы становятся все более сложными, и пользователям зачастую приходится использовать большое количество различных прикладных программ, вследствие чего снижается эффективность взаимодействия информационной системы с пользователем. Решением данной проблемы является использование адаптивных пользовательских интерфейсов.

Адаптивным пользовательским интерфейсом считается совокупность программных и технических средств, позволяющая пользователю эффективно использовать предоставленные системой свои возможности путем автоматического подстраивания интерфейса под конкретного пользователя с учетом его особенностей [4].

Одним из осовных свойств адаптивной системы является саморегулирование. Система определяет наиболее часто выполняемые задачи и упрощает дальнейшее взаимодействие с конкретным пользователем. Важным фактором является возможность частичного или полного отключения адаптивной функции системы по требованию пользователя. Пример такой системы – меню «Пуск» в операционной системе *Windows*, которая показана на рис. 1. В меню расположены элементы управления системой и системные службы, ярлыки наиболее часто используемых программ и ярлыки, вручную занесенные в меню пользователем.

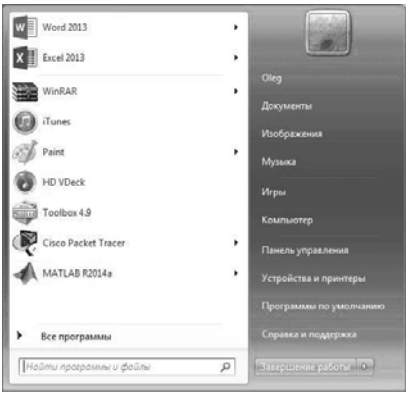


Рис. 1. Меню «Пуск» операционной системы *Windows*

Именно от интерфейса зависит эффективность деятельности пользователя, а соответственно и эффективность использования системы, поэтому задача создания адаптивного интерфейса весьма актуальна [2].

Пример графического пользовательского интерфейса мобильного устройства под управлением операционной системы IOS 8 представлен на рис. 2. Часть ярлыков прикладных программ сгруппированы в области быстрого запуска: в нижней части для вертикального расположения интерфейса и в правой части для горизонтального расположения интерфейса.

Для создания эффективного адаптивного пользовательского интерфейса необходимо определить область наиболее удобного и, как следствие, более частого взаимодействия пользователя с системой. На рис. 3 представлено расположение областей при управлении графическим интерфейсом мобильного телефона (смартфона) одной и двумя руками.

Следует подчеркнуть, что для разных пользователей данные области отличаются в силу анатомических особенностей конкретного пользователя.

Исходя из полученных данных предлагается изменить расположение панели быстрого запуска, как показано на рис. 4.

Рис. 2. Примеры пользовательских интерфейсов

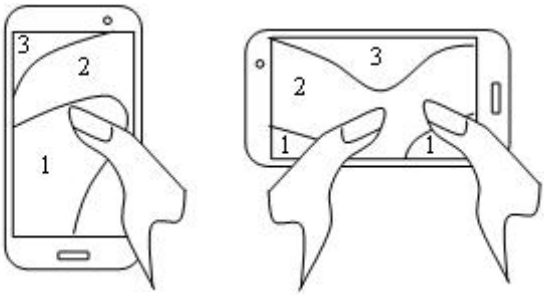


Рис. 3. Использование интерфейса одной рукой (слева) и двумя руками (справа): *1* – область свободного доступа; *2* – область затруднительного доступа; *3* – область трудного доступа

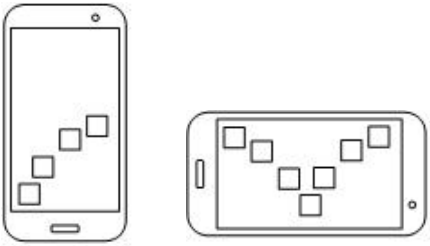


Рис. 4. Предлагаемый интерфейс быстрого доступа

Для адаптивного пользовательского интерфейса предлагается обеспечить перемещение наиболее часто используемых ярлыков программ на панель быстрого запуска. Система должна анализировать частоту использования программы в определенный промежуток времени, сравнивать ее с частотой использования других программ и исходя из этого автоматически перемещать ярлык в соответствующую область. Также необходимо предоставить пользователю возможность ручного управления расположением ярлыков программ вплоть до полного отключения системы адаптивного интерфейса.

Адаптивный интерфейс обеспечивает наибольшую совместимость пользователя и технического средства благодаря подстройке под индивидуальные особенности пользователя. В результате чего повысится надежность и вероятность безошибочной работы всей системы.

Список литературы

1. *Ходаков, В. Е.* Адаптивный пользовательский интерфейс: проблемы построения / В. Е. Ходаков, Д. В. Ходаков // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2003. – № 1.

2. *Нистюк, А. И.* Экспериментальные исследования взаимодействия телекоммуникационных систем с неквалифицированным оператором // Фундаментальные и прикладные проблемы науки : материалы VIII Междунар. симпоз. – Т. 1. – М. : РАН, 2013. – С. 200–204.

3. *Нистюк, А. И.* Программно-аппаратный комплекс для исследования сложных телекоммуникационных систем и систем управления // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 1. – С. 149–152.

4. *Барбашин, Д. И.* Синтез адаптивных средств взаимодействия в сложных технических системах управления / Д. И. Барбашин, А. И. Нистюк // В мире научных открытий: Математика. Механика. Информатика. – Красноярск : Науч.-инновац. центр. – 2012. – № 1. – С. 39–49.

5. *Барбашин, Д. И.* Повышение надежности управляющих систем при проектировании // Наука и техника в современном мире : Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск : Априори, 2011. – С. 37–40.

УДК 621.396

В. Е Минин, соискатель
E-mail: Ludwigvan@ya.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Применение алгоритма классификации в процедуре установления соединения

Рассмотрим пример, где станции могут применять правила доступа к среде двух протоколов: *ALOHA* и *nonpersistent CSMA*. Параметрами, влияющими на количество коллизий и простоев станций этих протоколов, являются задержка распространения *a* и интенсивность поступающих требований *G* [1, 2]. Произведем геометрическую интерпретацию параметров, влияющих на количество коллизий и простоев станций, получим оси Параметр *G* и Параметр *a*. В результате этой интерпретации получается пространство с диапазоном значений от 0 до 10 в Параметре *G* и от 0 до 1 в Параметре *a.*

Пространство параметров можно разделить на множество непересекающихся параллелепипедов. Допустим во всем пространстве параметров существуют ограниченные области наборов правил *ALOHA* (далее класс *A)* и *nonpersistent CSMA* (далее класс *B*), которые находятся в пределах значений, составляющих пространство параметров $A, B \subseteq R^n$ и полностью занимают это пространство параметров.

Нераспознанное пространство уменьшается после каждого отделения прямоугольника.

На рис. 1 классы *A* и *B* находятся в пространстве R^n, где количество осей *n*-мерного пространства (количество параметров, влияющих на скорость передачи канального уровня) $n = 2$.

Необходимым является условие, что классы не пересекаются. В случае их пересечения следует ввести еще один параметр, который, являясь еще одной осью в *n*-мерном пространстве, разделит классы.

Отделяя диапазон значений какого-либо из параметров пространства, отделяются и части областей наборов правил, принадлежащие этому пространству. С целью отнесения части пространства к какому-либо из классов, отделяются области, соответствующие определенным диапазонам значений какого-либо из параметров (в геометрической интерпретации *n*-мерные прямоугольники I_m) в пространстве параметров R_k^{n-1}, где

© Минин В. Е., 2015

R_k – это пространство параметров, после проведения процедуры отделения k n-мерных прямоугольников от исходного пространства R^n. При каждом отделении области n-мерного прямоугольника I_m (далее Прямоугольник) размерность пространства для данного исследуемого прямоугольника уменьшается, т. к. для дальнейшего рассмотрения прямоугольника уже не существенен параметр, по которому он был отделен.

Прямоугольник отделяется по одному из параметров с областью значений $h = \varepsilon_0 \delta_0$, называемой ребром прямоугольника I_m, где ε_0 – коэффициент изменяющий длину ребра относительно минимального расстояния между множествами, находящийся в пределах от 0 до 1 (рис. 2).

Повторяя эту процедуру с отделяемыми подобластями по каждому из параметров с параллельным построением дерева, в итоге будут отделены подобласти, которым соответствует лишь один класс.

Данный алгоритм, основанный на произвольных координатных отношениях на неупорядоченном наборе координат, строит деревья. В каждом узле такого дерева находится наименование координатной оси и ее значение. Можно принять, что левой ветви соответствует отношение <, а правой ≥. В листьях дерева находятся указатели на класс, как показано на рис. 3.

Для фрагментирования подобласти класса потребуется от 1 до n итераций отделения диапазона значений параметров, рассматриваемого прямоугольника. Совокупность отделенных распознанных подобластей дает полное описание значений параметров, в которых существуют области наборов правил A и B.

Алгоритм заканчивает работу, разделив на подобласти все пространство R^n.

Объединение всех прямоугольников, включающих в себя части одного из классов, представляет собой область значений параметров этого класса (рис. 4).

Определение принадлежности областей к классам будет происходить в той же последовательности, что и разделение.

Большинство алгоритмов классификации имеют экспоненциальную или суб-экспоненциальную сложность и являются медленными. В статье [3] автор доказал, что применение данной методики позволяет ожидать полиномиальной скорости решения алгоритма. Учитывая большие значения сложности (размерности) решаемой задачи, полиномиальная сложность решения задачи классификации является существенным преимуществом.

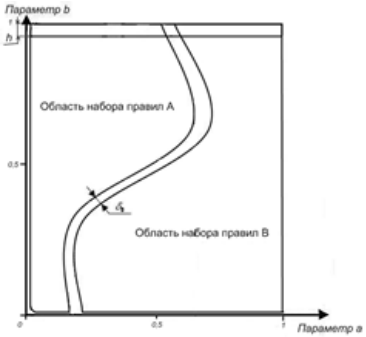


Рис. 1. Классифицируемые области в пространстве R^n

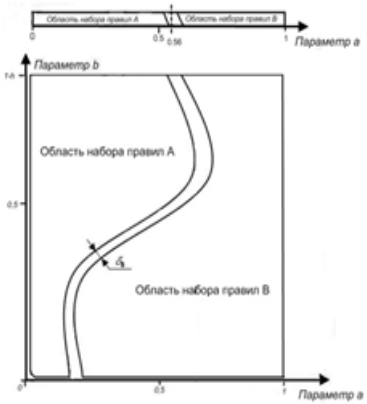


Рис. 2. Отделение подобласти из пространства R^n

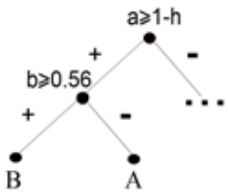


Рис. 3. Пример построения дерева классификации

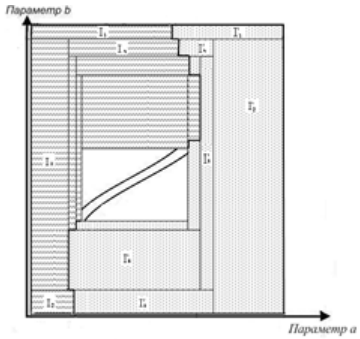


Рис. 4. Разделенное на подобласти пространство R^n

Предложен алгоритм, позволяющий осуществить адаптацию правил доступа к среде при автоматическом установлении соединения. Применение данного алгоритма позволяет обеспечить максимальную среднюю скорость передачи канального уровня.

Список литературы

1. *Клейнрок, Л.* Вычислительные системы с очередями. – М. : Мир, 1979.

2. *Kleinrock, L.* Packet Switching in Radio Channels: Part I – Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics / L. Kleinrock and F.

A. Tobagi // IEEE Transactions on Communications. – Vol. COM-23. – No. 12 : 1400-1416, 1975.

3. *Тетерин, А. Н.* Геометрический подход к класификации – новая модель работы нейрона // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1992. – № 32.

УДК 621.396 (09)

А. О. Михайлова, студентка
Е. М. Зайцева, канд. пед. наук, доцент
В. А. Сидорина, канд. пед. наук, доцент
E-mail: em_zaytseva@yahoo.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Разработка карты музеев радиотехники и связи России с использованием средств информационных технологий

Учебный план специальности 210601.65 «Радиоэлектронные системы и комплексы» включает дисциплину «История радиотехники», задачей которой является знакомство студентов с будущей профессиональной деятельностью, с особенностями организации учебного процесса в вузе и основными понятиями радиотехники. Но основной целью данной учебной дисциплины является изучение истории развития радиотехники и связи. Наибольший интерес у студентов на лекционных занятиях вызывает информация об экспонатах ведущих музеев этой области знаний, таких как «Нижегородская радиолаборатория НРЛ» «Центральный музей связи им. А. С. Попова» и др.

В связи с этим возникла необходимость дать студентам радиотехнических специальностей более полное представление о действующих музейных экспозициях в области истории радиотехники и связи, истории телевидения, истории космических средств связи, а также музеев, касающихся применения радиотехнических устройств в военной области.

Студентами кафедры «Радиотехника» ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» проведена исследовательская работа, включающая следующие этапы:

– проведение информационного поиска музейных экспозиций в исследуемой предметной области;

– классификацию найденных музейных ресурсов;

– изучение сайтов музеев и составление обзора;

– создание карты музеев радиотехники и связи России;

© Михайлова А. О., Зайцева Е. М., Сидорина В. А., 2015

– разработку компьютерной презентации по результатам проведенного исследования для использования при проведении лекционных занятий по дисциплине «История радиотехники».

Информационный поиск ресурсов музейных ресурсов в сети Интернет проводился с использованием интернет-браузера *Opera*. В результате выявлено более 50 музейных экспозиций.

В ходе исследования выполнена классификация найденных музейных ресурсов. Музеи радиотехники и связи относятся к профильной группе научно-технических музеев, документирующих историю развития и современное состояние науки и техники и их влияние на эволюцию человеческого общества. В этой группе выделяют многопрофильные музеи, которые документируют историю науки и техники в целом, а также отраслевые, представляющие отдельные отрасли науки, техники и технологии, промышленного производства [1, 2].

В группе отраслевых музеев выделяют:

– музеи связи – группа музеев, которая документируют историю развития связи, почты, телефонов, телеграфов и т. д.;

– музеи авиации и космонавтики;

– музеи военной техники;

– музеи транспорта.

Промышленные музеи – группа музеев, собрания которых документируют историю развития и современный уровень промышленности в целом или её отдельных отраслей. Группа промышленных музеев включает собственно промышленные, музеи истории предприятий и производств определённого вида продукции.

В результате проведения информационного поиска выявлено, что помимо перечисленных, в данную классификацию необходимо включить музеи образовательных учреждений и виртуальные музеи, представленные в сети Интернет.

Виртуальные музеи в нашей классификации делятся на группы:

– образовательных учреждений (вузов, средних специальных учебных заведений, школ);

– общественных организаций;

– частные музеи.

В ходе исследовательской работы изучены сайты музеев и составлен обзор музейных экспозиций. Наиболее полно представлены в сети интернет экспозиции музеев связи, например, Центральный музей связи имени А. С. Попова в Санкт Петербурге. Это один из старейших научно-технических музеев мира, основан в 1872 г. Уникальную коллекцию музея, посвященную истории развития средств связи, составляют экспонаты по истории почтовой, телеграфной и телефонной связи, радиосвязи

и радиовещания, телевидения, мобильной, космической и спутниковой связи [3].

Музеи, связанные с историей военной техники, такие как Музей радио и радиолюбительства им. Э. Т. Кренкеля в Москве, основанный еще в конце прошлого века, и фонды которого составляют более тысячи единиц радиоприборов и конструкций [4].

Воскрешение исторической памяти о тех средствах связи, которые использовались в Первой и Второй мировых войнах, – это основная тема экспозиций Радиомузея РКК [5].

К музеям авиации и космонавтики относятся Государственный музей истории космонавтики имени К. Э. Циолковского в Калуге. В фондах музея представлены образы техники будущего (самолёт, дирижабль, ракета, эфирные поселения) [6].

Центральный музей железнодорожного транспорта Российской Федерации в Санкт-Петербурге, посвящённый железным дорогам, подвижному составу и всему, что с этим связано. Основан музей в 1813 г. [6].

Интересны и экспозиции музеев образовательных учреждений, например, радиотехнический музей Саратовского государственного технического университета [7], музей ГБОУ СОШ № 1739 г. Москвы [8] и др.

К группе промышленных музеев относятся музеи производственных предприятий, такие как Нижегородская радиолаборатория созданная в 1918 г. Этот музей хранит в себе не только всю историю начала развития радиоприёма и радиопередачи информации, но и развитие бытовой радиотехники. Первые телевизоры с крошечной диагональю и чёрно-белым изображением, радиолы, военные радиостанции, светомузыка представлены в его фондах [9].

Имеют собственные музейные экспозиции и производственные предприятия отрасли радиотехники и связи, такие как ОАО «Аксион-Холдинг» [10], ОАО «ИЭМЗ «Купол» [11], ОАО «Ижевский радиозавод» [12] и др.

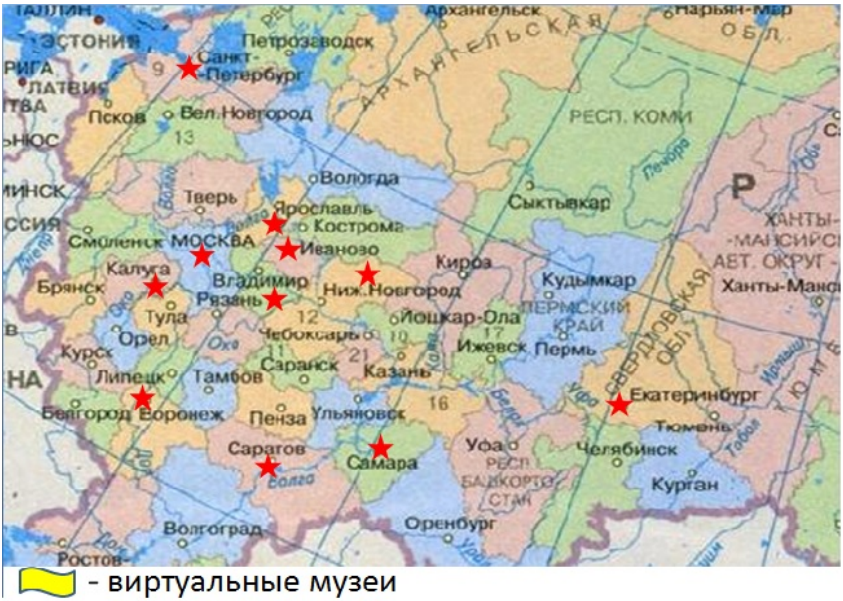
Широко представлены в сети Интернет виртуальные музеи, которые дают возможность людям, оторванным географически от музейных центров, изучить историю радиотехники и связи, сформировать свою систему ценностей вне зависимости от того, где они проживают. Виртуальный музей несет не только информационную функцию, но также и образовательную.

В сети Интернет широко представлены виртуальные музеи, один из которых «Отечественная радиотехника XX века» – онлайн-энциклопедия для любителей [13].

Музеи, посвященные истории радиотехники и связи есть и за рубежом, например, Музей радио в Вероне, Музей Радио Франции, Музей

радио в Алабино, но исследование информационных ресурсов данных музеев не входило в задачи данного исследования.

Создание карты музеев радиотехники и связи России выполнено с использованием интернет-ресурса «Яндекс карты» и программы *Microsoft PowerPoint*. Карта содержит гиперссылки на города и области, в которых работают музеи радиотехники и связи. Например, при переходе по гиперссылке г. Москва открывается страница, на которой представлены все музеи Москвы и Московской области с возможностью перехода на официальные сайты музеев. В нижней части карты имеется значок, который обеспечивает переход к виртуальным музеям, общее количество которых более 30. Разработанная карта представлена на рисунке.



Карта музеев радиотехники и связи России

Компьютерная презентация для проведения лекционного занятия по дисциплине «История радиотехники» выполнена с использованием пакета программ *Microsoft Office*. Данная презентация знакомит студентов с наиболее интересными музейными экспозициями.

Результаты работ, проведенных на кафедре «Радиотехника», обеспечат повышение качества подготовки студентов радиотехнических спе-

циальностей, а также будут использованы при проведении профориентационных мероприятий в учебных заведениях города Ижевска и Удмуртской Республики.

Список литература

1. *Юренева, Т. Ю.* Музееведение : учеб. для высшей школы. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Академический Проект ; Альма Матер, 2007. – 560 с.
2. *Ноль, Л. Я.* Информационные технологии в деятельности музея : учеб. пособие. – М. : РГГУ, 2007. – 204 с.
3. URL: http://www.rustelecom-museum.ru/main/
4. URL: http://goo.gl/ydgTRT
5. URL: http://goo.gl/t4C6K0
6. URL: http://goo.gl/O3VcYz
7. URL: http://goo.gl/P9zCWc
8. URL: http://goo.gl/2kzZja
9. URL: http://radiolaboratorija.ru/
10. URL: http://www.axion.ru
11. URL: http://www.kupol.ru
12. URL: http://www.irz.ru

УДК 621.391.1

Д. Б. Надеева, студент
А. И. Нистюк, д-р техн. наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Кодирование информации

Кодирование информации с незапамятных времен использовалось человечеством. В глубокую древность уходит потребность в передаче информации. Желание передать информацию жестами, звуками, зарубками, рисунками и тому подобными знаками – все это кодирование информации. Но вот что касается возникновения этого знания, сопровождающегося возникновением системы счисления, используемой в системе передачи информации, то тут возникает проблема такая же, как и с определением времени возникновения колеса или письменности.

Так, в «Энциклопедии для детей» под редакцией Е. Хлебалиной, статье «Хроника возникновения телеграфа» Г.Члиянца, в статье В. З. Черняка «В телекоммуникационном мире» и в статье под названием «Теория кодирования» [2, 3, 5–7], авторы, описывая историю кодирования

© Надеева Д. Б., Нистюк А. И., 2015

информации, начинают с простейших методов, таких как рисование на отвесных скалах, разжигание костров, подача звуковых сигналов (известные как «тамтамные» линии связи). А завершают историю такими известными именами, как Карл Фридрих Гаусс, Клод Шапп, Вильгельм Эдуард Вебер, Сэмюэл Морзе, Павел Львович Шиллинг, вклад которых в развитие теории связи не вызывает сомнений.

Конечно, можно согласиться с мнением авторов относительно того, что кодирование информации возникло с появлением человека, что названные выше имена ученых являются по-настоящему легендарными в истории кодирования, что их изобретения – это весомые шаги в развитии передачи информации на расстоянии и ее кодировании, но, к сожалению, изучая их труды, как и любые другие, посвященные возникновению этого явления, не отмечено переломного момента перерождения «примитивно-обыденного» кодирования информации в осмысленное, нашедшее свое применение в настоящее время.

Однако возникает вопрос о том, какой период в истории можно считать отправной точкой в развитии осознанного кодирования информации?

Для решения проблемы были поставлены следующие задачи:

1. Собрать и проанализировать материалы, посвященные истории кодирования информации.

2. Определить и обосновать момент перехода от интуитивного кодирования информации к осмысленному, формализованному.

3. Установить имена ученых, решающих подобные задачи.

При исследовании данной темы были обработаны материалы, посвященные теме истории кодирования информации, таких авторов, как Г. Члиянц, В. З. Черняк, В. И. Каганов, материалы под редакцией А. М. Прохорова, Е. Хлебалиной и интернет-источники.

Так, в статье Г. Члиянца, посвященной возникновению телеграфа было сказано: «Уже в 450 г. до н. э. древнегреческие философы Демокрит (ок. 460 – ок. 370 г. до н. э.) и Клеоксен предложили создать оптический факельный телеграф – простую и остроумную систему связи. Разбив 24 буквы греческого алфавита на 5 строк (по 5 в каждой, кроме последней строки) ночью – при помощи факелов, а днем – флажками можно было указать, какая именно буква алфавита передается в данный момент. Их изобретение не получило широкого применение, однако его название сохранилось до наших дней – телеграфировать означает по-гречески «писать на расстоянии» [7].

Для того времени это была очень остроумная конструкция, впервые включавшая в себя кодирование информации и систему счисления, с помощью которой можно было шифровать буквы греческого алфавита.

До этого кодирование информации имело менее разумный характер у индейцев, передающих с помощью костров и «дымовых толбов» информацию, включающую пять предложений. Но их принцип передачи информации на расстоянии ограничивался лишь заранее определенными фразами и не предполагал использование систем счисления.

Кратко напомним принцип работы телеграфа Демокрита и Клеоксена.

Исключительно интересное и весьма прогрессивное для своего времени изобретение («факельный телеграф») сделали в V веке до н. э. греческие философы Клеоксен и Демокрит. Тот самый материалист Демокрит из Абгера, что стоял у истоков античной атомистики и первый произнес слово «атом», которое стало едва ли не самым популярным современного лексикона, ставшее одним из символов XX столетия.

Они предложили передавать на видимое расстояние отдельные буквы греческого алфавита посредством комбинации из двух факелов. С этой целью греческий алфавит, в котором двадцать четыре буквы, они записали в виде квадратной таблицы из пяти строк и пяти столбцов, как в приведенной таблице. В каждой клетке (за исключением последней) располагалось по одной букве.

Таблица кодирования

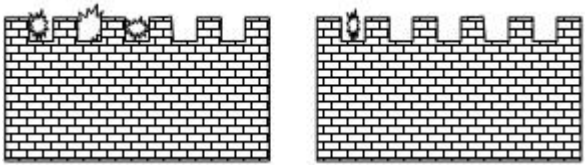
	1	2	3	4	5
1	**Α**	**Β**	**Γ**	**Δ**	**Ε**
2	**Ζ**	**Η**	**Θ**	**Ι**	**Κ**
3	**Λ**	**Μ**	**Ν**	**Ξ**	**Ο**
4	**Π**	**Ρ**	**Σ**	**Τ**	**Υ**
5	**Φ**	**Χ**	**Ψ**	**Ω**	

Передаточные станции представляли собой две стены с зубцами, как на рисунке, между которыми имелось пять промежутков. Сообщения передавались факелами, вставляемыми в промежутки между зубцами стен. Факелы первой стены указывали на номер строки таблицы, а факелы второй стены – на номер буквы в строке.

Изображение на рисунке соответствует первой букве третьей строки – **Λ**.

Данная технология обладает избыточностью, а следовательно, помехоустойчивостью. Так, при передаче используется не только позиция на стене, но и число факелов. Показывая букву за буквой, можно было передать любое, причем не согласованное заранее сообщение. Однако из-за таких недостатков, как громоздкость, зависимость от погодных условий, «стены связи», описанные древнегреческим историком Полибием во II веке до н. э., практического применения не получили. И все же их

можно считать прообразом телеграфа. Во всяком случае, термин «факельный телеграф» вполне прижился [4].



Стены связи

Проанализируем телеграфный код. Информация, передаваемая посредством «факельного» телеграфа, преобразовывалась в комбинации двух цифр, одна из которых указывала на столбец, а другая на строку зашифрованной буквы. Как и у любой системы счисления у данной пятеричной системы счисления телеграфа Демокрита и Клеоксена имеется основание кода m, т. е. число различных элементарных символов, образующих составной сигнал, и оно равно 5, т. к. используется пять строк и пять столбцов. Кроме того, значность нашего кода n, соответствующая числу элементарных символов, образующих составной сигнал, и она в нашем случае равна двум, т. к. абсолютно все буквы греческого алфавита кодируются с помощью двух цифр (положения в строке и столбце). Таким образом, при основании $m = 5$ и $n=2$ максимальное число составных сигналов или кодовых комбинаций

$$N = m^n = 5^2 = 25,$$

т. е. получается, что с помощью данной комбинации цифр пятеричной системы счисления можно закодировать 24 буквы греческого алфавита, а пустая ячейка, имеющая шифр 55, является пробелом или паузой между словами.

Таким образом, факельный телеграф Демокрита и Клеоксена действительно прогрессивное для того времени изобретение, принцип работы которого основывается на использовании так называемой пятеричной системы счисления, также по своей сути являющейся прогрессивной и соответствующий современной двоичную, используемую во всем цифровом оборудовании нашего времени. Таким образом, исходя из выше сказанного, можно утверждать, что именно «факельный телеграф» Демокрита и Клеоксена является отправным пунктом в зарождении осмысленного кодирования информации.

Список литературы

1. *Каганов, В. И.* Радиотехника : учеб. пособие. – М. : Academia, 2006. – С. 90–97.
2. *Хлебалина, Е.* Энциклопедия для детей. – Т. 22. Информатика. – М. : Аванта+, 2004. – С. 18–38.
3. Теория кодирования // GOUSPO : студенческий портал. – URL: http://gouspo.ru/?page_id=22 (дата обращения: 17.10.2014).
4. «Факельный» телеграф. «Конная» почта // Прошлое, настоящее и будущее кабелей связи. – URL: http://pusk.z83.ru/cable-1-3.php (дата обращения: 17.10.2014).
5. *Черняк, В. З.* История и философия техники : пособие для аспирантов. – М., 2006. – С. 458–462.
6. *Члиянц, Г.* Хроника возникновения телеграфа // История науки и техники. – 2002. – № 7. – С. 17–21.

УДК 311.21

М. М. Павлова, ст. преподаватель
И. А. Кайсина, студентка
E-mail: mariya.m.pavlova@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Анализ эффективности летней практики студентов направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Для каждого студента летняя практика является важным элементом учебного процесса. При поступлении в вуз и в процессе обучения студент не осознает сути своей специальности (последующее применение и практическую реализацию полученных знаний, имеет размытое представление о будущем спектре работ и т. п.). Ежегодное прохождение практики позволяет сформировать представление о своей будущей работе и сделать выводы о собственной профпригодности.

Практика студентов – основная часть образовательного процесса и составная часть основной образовательной программы (ООП) высшего профессионального образования (ВПО), обеспечивающей реализацию Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС). В Ижевском государственном техническом университете имени М. Т. Калашникова по направлению бакалавриата 210700 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» студенты проходят обучение по

© Павлова М. М., Кайсина И. А., 2015

трем профилям, контингент которых на 2014/15 учебный год приведен в табл. 1 [1].

Таблица 1. **Контингент направления**

Профиль	2-й курс, чел	3-й курс, чел	4-й курс, чел
Многоканальные телекоммуникационные системы	15	14	17
Сети связи и системы коммутации	0	16	0
Сети мобильной связи	9	14	11
Всего	**96**		

В соответствии с ООП выделяют два вида летней практики: учебная и производственная. Учебная практика длительностью 14 дней проводится после 2-го семестра у студентов второго курса. За время практики чаще всего происходит знакомство с предприятиями, их структурой, основной деятельностью и базовыми принципами работы подразделений. Производственная практика проходит у студентов 3-го и 4-го курсов, где студенты уже могут продемонстрировать свои полученные знания, включившись в рабочий процесс.

Основными местами прохождения учебной и производственной практики являются лаборатории кафедр, ОАО «Ростелеком», ЗАО «Сотовая связь Удмуртии», ОАО «Мобильные телесистемы», ОАО «Башинформ связь», ОАО «ИЭМЗ «Купол», ОАО «Ижевский мотозавод «Аксион Холдинг» и т. д.

Для выявления эффективности и практической ценности летних практик было проведено аудиторное анкетирование студентов, направления 210700 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Неслучайный направленный отбор 68 респондентов был произведен из генеральной совокупности 96 человек. Для определения достоверности результатов был произведен расчет доверительной вероятности (1) [2].

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{\Delta^2}, \qquad (1)$$

где Z – нормированное отклонение, зависящее от доверительной вероятности; p – вариация; Δ – доверительный интервал.

Приняв доверительный интервал 10 % и то, что при выборочном обследовании вариация отклонения равна 0,5, получаем $Z = 1{,}65$. Это соответствует 90 % доверительной вероятности.

Для оценки надежности результатов выборочного обследования используется (2) и применяются следующие критерии: повышенная надежность допускает ошибку выборки до 3 %, обыкновенная – от 3 до

10 %, приближенная – от 10 до 20 %, ориентировочная – от 20 до 40 %, а прикидочная – более 40 % [3].

$$\mu = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}, \qquad (2)$$

где μ – средняя квадратическая ошибка, σ – дисперсия ($\sigma^2 = 0{,}25$ при выборочном наблюдении).

При расчетной выборке 68 респондентов ошибка составила 6 %, что доказывает обыкновенную надежность результатов опроса.

Анкета содержала 9 вопросов с несколькими вариантами ответов. Результаты опроса в виде гистограмм и их анализ приведены далее.

Результат оценки студентами теоретических знаний и практических навыков, полученных в процессе прохождения практик по 10-бальной шкале, приведен на рис. 1.

На рис. 1 можно наблюдать, что на 2-м курсе (который является первым годом практики) средний балл полученных теоретических знаний и практических навыков относительно мал (5,66 и 5,5, соответственно). Это связано с тем, что студенты только изучают работу предприятий, и чаще всего допускаются только до ознакомительных или «бумажных» работ (работ с архивными документами, журналами безопасности, карточками абонентов и т. д.). На 3-м курсе наблюдается максимальный средний балл полученных знаний (6,34) и навыков (6,48), т. к. студентов обучают, а затем допускают выполнять базовые работы (мониторинг, монтаж, настройка и т. д.). На 4-м курсе показатели незначительно понижаются (6,2 и 6 соответственно), т. к. спектр выполняемых работ практикантов расширяется и чаще всего меняется их характер (проектирование, конструирование и разработка).

При прохождении практики знания, полученные в процессе обучения, пригодились 71,6 % студентам; 48 % пользовались теоретическимми знаниями, а 22 % практическими навыками. На гистограмме (рис. 2) можно наблюдать, что с увеличением курса, возможность применения полученных при обучении знаний и навыков на практике растет, и это напрямую связано с увеличением числа дисциплин направления (спецдисциплин).

91 % студентов считают, что знания, полученные при прохождении практики, пригодятся им в будущей профессии. На гистограмме (рис. 3) можно наблюдать, что вне зависимости от курса, студенты получают большой практический опыт и считают его ценным.

Опрос выявил, что 79 % студентов не составило трудности понимать и применять используемую руководителями и сотрудниками предприятий связи техническую лексику и терминологию (рис. 4).

Рис. 1. Оценка знаний и навыков, полученных на практике

Рис. 2. Значимость знаний и навыков, полученных при обучении

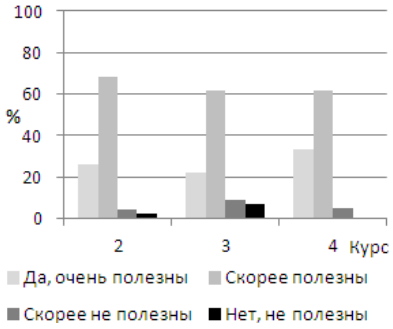


Рис. 3. Значимость знаний полученных во время практики

Рис. 4. Восприятие технической терминологии

На гистограмме (рис. 5) можно наблюдать, что с каждым годом студенты начинают более ответственно относиться к выбору места своей практики: если на 2-м курсе чаще надежды возлагаются на руководителя, то на 4-м инициативу перехватывает студент и самостоятельно выбирает место практики, чаще всего с перспективой будущего трудоустройства.

У 10 % студентов место работы совпадает с местом прохождения практики. На гистограмме (рис. 6) показано, что с увеличением курса растет доля студентов совмещающих работу и учебу.

Рис. 5. Выбор места практики

Рис. 6. Совмещение учебы и работы

Таким образом, проведенный анализ результатов опроса студентов направления 210700 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» об эффективности летней практики позволил выявить высокий интерес студентов к данному виду учебной деятельности. Летняя практика является важным этапом обучения, т. к. именно на предприятии студент начинает осознавать сущность свой будущей трудовой деятельности и может раскрыть свой потенциал в выбранном направлении.

Список литературы

1. Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова : офиц. сайт. – URL:http://www.istu.ru/ (дата обращения 10.10.2014).

2. *Сизова, Т. М.* Статистика : учеб. пособие. – СПб. : СПб ГУ ИТМО, 2005. – 80 с.

3. Федеральный фонд учебных курсов. Социология. – URL: http://www.ido.rudn.ru/ffec/soc/soc.html (дата обращения 10.10.2014).

УДК.621.391

И. Б. Петрушина, доцент
А. А. Калабин, студент
E-mail: psatsi@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

К вопросу о нахождении передаточной функции в радиотехнических цепях с использованием первичных параметров

Для нахождения передаточной функции в радиотехнических цепях используют, как правило, классические методы расчета цепей [1–4]. При достаточной сложности радиотехнической цепи более удобен операторный метод анализа с использованием первичных параметров.

В данной статье для нахождения передаточной функции двойного Т-образного моста (рис. 1), который является заграждающим фильтром, предлагается использование системы *Y*-параметров, т. к. цепь состоит из двух параллельно соединенных четырёхполюсников, которые можно рассматривать по отдельности.

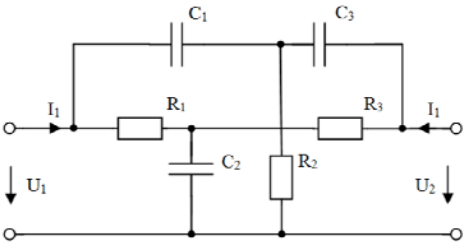


Рис. 1. Электрическая схема двойного Т-образного моста

Режим работы определён полностью, если известны напряжения и токи: I_1, I_2, U_1, U_2. Задача ставится следующим образом: две из четырёх величин известны, их можно рассматривать как заданное воздействие на цепь. Требуется определить отклики на эти воздействия. Для решения данной задачи необходимо располагать системой двух уравнений с двумя неизвестными, которые называются основными уравнениями четырёхполюсников. При заданных напряжениях U_1 и U_2 искомыми откликами являются I_1 и I_2.

© Петрушина И. Б., Калабин А. А., 2015

$$\begin{cases} I_1 = Y_{11}U_1 + Y_{12}U_2, \\ I_2 = Y_{21}U_1 + Y_{22}U_2. \end{cases} \quad (1)$$

Поскольку наши четырёхполюсники являются симметричными:

1. Прямая и обратная передаточные проводимости равны между собой: $Y_{12} = Y_{21}$.

2. Входная и выходная передаточные проводимости равны между собой: $Y_{11} = Y_{22}$.

Два четырехполюсника, соединенные между собой параллельно, образуют сложный четырехполюсник. Если известны параметры каждого из составляющих четырехполюсников, то могут быть рассчитаны и параметры результирующего четырехполюсника.

$$\begin{cases} U_1 = U'_1 = U''_1, \\ U_2 = U'_2 = U''_2, \\ I_1 = I'_1 + I''_1, \\ I_2 = I'_2 + I''_2. \end{cases} \quad (2)$$

Тогда с учетом уравнений (2) система (1) перепишется в виде:

$$\begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Y'_{11} + Y''_{11} & Y'_{12} + Y''_{12} \\ Y'_{21} + Y''_{21} & Y'_{22} + Y''_{22} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} U_1 \\ U_2 \end{vmatrix} \quad (3)$$

Запишем передаточную функцию для схемы рис. 1:

$$K(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)}.$$

Y-параметры находятся в режиме холостого хода на входе или на выходе схемы:

$$\begin{cases} Y_{11} = \left.\dfrac{I_1}{U_1}\right|_{U_2=0} & Y_{12} = \left.\dfrac{I_1}{U_2}\right|_{U_1=0} \\ Y_{21} = \left.\dfrac{I_2}{U_1}\right|_{U_2=0} & Y_{22} = \left.\dfrac{I_2}{U_2}\right|_{U_1=0} \end{cases} \quad (4)$$

С учетом (4) запишем передаточную функцию

$$K(p) = -\frac{Y_{21}}{Y_{22}} = -\frac{I_2 U_2}{U_1 I_2} = -\frac{U_2}{U_1},$$

где параметры находятся из (3):

$$Y_{21} = Y'_{21} + Y''_{21},$$
$$Y_{22} = Y'_{22} + Y''_{22}. \qquad (5)$$

Выведем Y-параметры для каждой схемы в отдельности.

1) По определению (рис. 2):

$$Y'_{21} = \left.\frac{I_2}{U_1}\right|_{U_2=0}$$

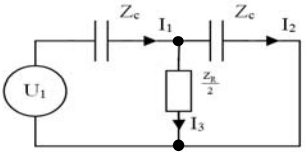


Рис. 2. Схема первого четырехполюсника при к. з. на выходе

По второму закону Кирхгофа:

$$-U_1 = I_1 Z_C + I_3 \frac{Z_R}{2}.$$

Используем формулу делителя тока:

$$I_3 = \frac{I_1 Z_C}{Z_C + \frac{Z_R}{2}}, \qquad I_2 = \frac{I_1 \frac{Z_R}{2}}{Z_C + \frac{Z_R}{2}}.$$

В результате получаем искомый параметр:

$$Y'_{21} = -\frac{Z_R/2}{Z_C\left(Z_C + \frac{Z_R}{2}\right) + Z_C \frac{Z_R}{2}} = -\frac{Z_R/2}{Z_C^2 + 2Z_C \frac{Z_R}{2}}. \qquad (6)$$

2) По определению (рис. 3):

$$Y'_{22} = \left.\frac{I_2}{U_2}\right|_{U_1=0}$$

По второму закону Кирхгофа

$$U_2 = I_2 Z_C - I_3 \frac{Z_R}{2}.$$

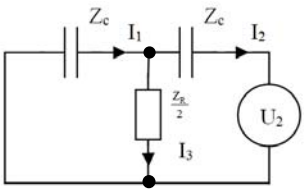


Рис. 3. Схема первого четырехполюсника при к. з. на входе

Используем формулу делителя тока

$$I_3 = -I_2 \frac{Z_c}{Z_C + \frac{Z_R}{2}}.$$

В результате получаем искомый параметр:

$$Y'_{22} = -\frac{1}{Z_C + \frac{\frac{Z_R}{2} Z_C}{Z_C + \frac{Z_R}{2}}} = \frac{\frac{Z_R}{2} + Z_C}{Z_C^2 + 2Z_C \frac{Z_R}{2}}. \qquad (7)$$

3) По определению (рис. 4):

$$Y''_{21} = \left.\frac{I_2}{U_1}\right|_{U_2=0}$$

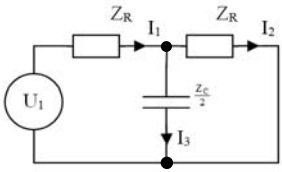


Рис. 4. Схема второго четырехполюсника при к. з. на выходе

По второму закону Кирхгофа:

$$-U_1 = I_1 Z_R + I_3 \frac{Z_C}{2}.$$

Используем формулу делителя тока:

$$I_3 = \frac{I_1 Z_R}{Z_R + \frac{Z_C}{2}}, \qquad I_2 = \frac{I_1 \frac{Z_C}{2}}{Z_R + \frac{Z_C}{2}}.$$

В результате получаем искомый параметр:

$$Y_{21}'' = -\frac{\frac{Z_C}{2}}{Z_R^2 + 2Z_R \frac{z_C}{2}}. \qquad (8)$$

4) По определению (рис. 5):

$$Y''_{22} = \left.\frac{I_2}{U_2}\right|_{U_1=0}$$

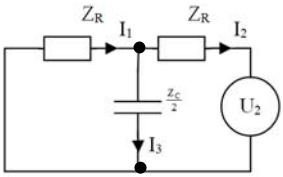


Рис. 5. Схема второго четырехполюсника при к. з. на входе

По второму закону Кирхгофа:

$$U_2 = I_2 Z_R - I_3 \frac{Z_C}{2}$$

Используем формулу делителя тока:

$$I_3 = -\mathrm{I}_2 \frac{Z_\mathrm{R}}{Z_R + \frac{Z_C}{2}}.$$

В результате получаем искомый параметр:

$$Y_{21}'' = \frac{\frac{Z_C}{2} + Z_R}{Z_R^2 + 2Z_R \frac{Z_C}{2}}. \qquad (9)$$

Используя (5)–(9), получим искомые результирующие параметры:

$$Y_{21} = -\frac{Z_C^2 + Z_R^2}{2Z_C Z_R (Z_C + Z_R)},$$

$$Y_{22} = \frac{\left(Z_C + \frac{Z_R}{2}\right)Z_R + \left(Z_R + \frac{Z_C}{2}\right)Z_c}{Z_C Z_R (Z_C + Z_R)} = \frac{4Z_C Z_R + Z_C^2 + Z_R^2}{2Z_C Z_R (Z_C + Z_R)}.$$

Искомая передаточная функция:

$$K = -\frac{Y_{21}}{Y_{22}} = \frac{Z_C^2 + Z_R^2}{4Z_C Z_R + Z_C^2 + Z_R^2} = \frac{1}{1 + \frac{4Z_C Z_R}{Z_C^2 Z_R^2}},$$

$$K(p) = \frac{1}{1 + \frac{4R\frac{1}{pC}}{R^2 + \frac{1}{p^2 C^2}}} = \frac{1}{1 + \frac{4RCp}{1 + R^2 C^2 p^2}}. \qquad (10)$$

Выразим комплексный коэффициент передачи, сделав замену $p = j\omega$ в формуле (10):

$$K(j\omega) = -\frac{1}{1 + \frac{4Rj\omega C}{1 - \omega^2 R^2 C^2}} = -\frac{1}{1 + j\frac{4\omega RC}{1 - \omega^2 R^2 C^2}}. \qquad (11)$$

Запишем амплитудно-частотную характеристику, найдя модуль выражения (11):

$$|K(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{(4\omega RC)^2}{(1 - \omega^2 R^2 C^2)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{16\omega^2 R^2 C^2}{(1 - \omega^2 R^2 C^2)^2}}}.$$

Запишем фазочастотную характеристику, найдя фазу выражения (11):

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0}{1}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{4\omega RC}{1 - \omega^2 R^2 C^2}\right) = -\operatorname{arctg}\left(\frac{4\omega RC}{1 - \omega^2 R^2 C^2}\right).$$

Приведенный в данной статье операторный метод нахождения передаточной функции радиотехнических цепей с использованием первичных параметров используется при изучении дисциплины «Основы теории цепей» в ИжГТУ имени М. Т. Калашникова на кафедре «Радиотехника».

Список литературы

1. *Бакалов, В. П.* Основы теории цепей для высших учебных заведений / В. П. Бакалов, В. Ф. Дмитриков, Б. И. Крук. – М. : Горячая Линия – Телеком, 2009. 600 с.
2. *Баскаков, С. И.* Лекции по теории цепей. – М. : Едиториал УРСС, 2009. – 280 с.
3. *Запасный, А. И.* Основы теории цепей : учеб. пособие – М. : РИОР, 2006. 336 с.
4. *Попов, В. П.* Основы теории цепей : учеб. для вузов – М. : Высш. шк., 2007. – 576 с.

УДК 621.391

Е. В. Поздеев, студент
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Применение помехоустойчивого кодирования при формировании сложных сигналов

Задача повышения помехозащищенности сигналов

Сложные сигналы находят широкое применение в современных радиотехнических системах различного назначения.

Информация, сообщение и сигнал в своей совокупности обладают пятью основными характеристиками: защищенность, длительность, ширина спектра, энергия и скрытность [1].

При разработке систем с учетом случайного момента начала работы и неограниченности по времени работы, особое внимание уделяют повышению эффективности использования выделенного диапазона частот, защищенности от помех и скрытности работы в целом [2].

Один из способов повышения помехозащищенности – использование помехоустойчивого кодирования.

Постановка задачи

При работе радиотехнической системы, использующей сложные сигналы, кодируемые в канале связи помехоустойчивым кодом, будем считать, что информация, передающаяся по каналу связи, носит случайный характер и образована генератором псевдослучайных последовательностей [3]. В работе рассмотрены 3 основных с точки зрения классической теории кодирования (классификация кодов представлена на рис. 1) помехоустойчивых кода в части их надежности, скорости работы и слож-

© Поздеев Е. В., 2015

ности схемы построения канала связи – коды Хемминга, БЧХ-коды и коды Рида – Соломона [4].

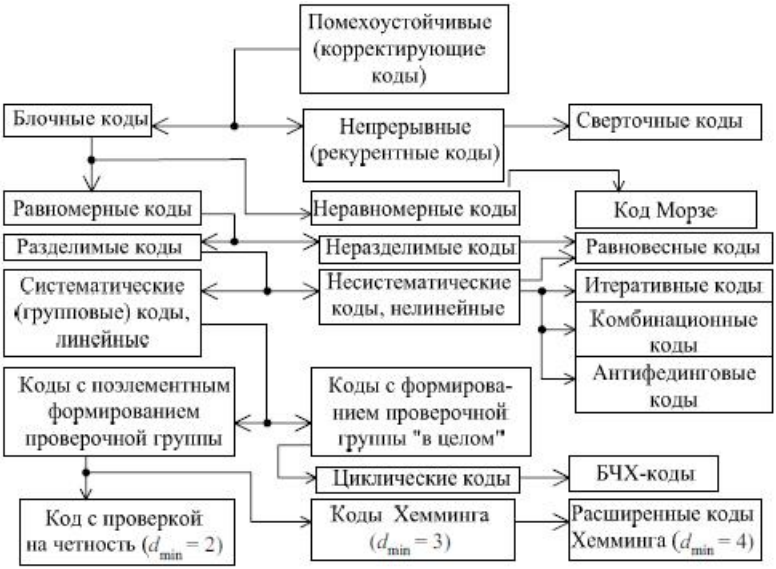


Рис. 1. Классификация помехоустойчивых кодов

Кратко о кодах Хемминга

Код Хемминга – простейший код, используемый для контроля и корректировки информации, передаваемой по каналу связи. Построен для двоичной системы счисления и основан на принципе проверки на четность. Основным минусом такой системы является явный пропуск ошибок, количество которых кратно 2 – 2, 4, 6 и т. д.

Код Хемминга, как наиболее простой, обладает минимальной избыточностью, но при этом может исправлять только однократные ошибки, что сильно сказывается на величине передаваемого пакета информации – пакет будет содержать оптимальное наименьшее количество бит. Это соответствует меньшему количеству служебной информации в пакете, что с одной стороны хорошо. С другой стороны количество пакетов станет больше. И при одинаковом проценте ошибок на бит, для сеанса связи в целом, нагрузка на информационную сеть возрастет за счет повторения большого числа пакетов малой величины. Так же структурная сложность пакета минимальна, что отрицательно сказывается на информационную защищенность канала связи.

Для каждого числа проверочных символов r = 3, 4, 5, … существует классический код Хемминга с маркировкой:

$$(n, k) = (2^r - 1,\ 2^r - 1 - r), \tag{1}$$

где n – длина кодовой последовательности; k – длина информационной последовательности; $r = (n - k)$ – число проверочных разрядов.

Для построения кода должно выполняться выражение:

$$2^k \le \frac{2^n}{n+1}. \tag{2}$$

Минимальный код для исправления ошибки будет содержать n = 7 при k = 4.

Кратко о БЧХ-кодах

Коды БЧХ являются циклическими кодами и частным случаем линейных (n, k)-кодов. В их основе лежит циклическая перестановка бит слева направо на одну позицию, причем крайний правый бит переносится на место крайнего левого, что в итоге дает также разрешенную кодовую комбинацию.

Описание циклических кодов связано с представлением кодовых комбинаций в виде полиномов. Формирование разрешенных кодовых комбинаций циклического кода основано на предварительном выборе порождающего (образующего) полинома.

На практике это дает возможность задания количества исправляемых бит в пакете данных еще на этапе разработки системы.

Кратко о кодах Рида – Соломона

Коды Рида – Соломона являются частным случаем БЧХ-кодов и относятся к недвоичным циклическим кодам, символы которых представляют собой m-битовые последовательности, где m – положительное целое число, большее 1.

Коды Рида – Соломона (n, k) определены на m-битовых символах при всех n и k, для которых:

$$0 < k < n < 2^m + 2, \tag{3}$$

где k – число информационных битов, подлежащих кодированию; n – число кодовых символов в кодируемом блоке.

Для большинства сверхточных кодов Рида – Соломона (n, k):

$$(n, k) = (2^m - 1,\ 2^m - 1 - t), \tag{4}$$

где t – количество ошибочных битов в символе, которые может исправить код, а $n - k = 2t$ – число контрольных символов.

Код Рида – Соломона обладает наибольшим минимальным расстоянием, возможным для линейного кода с одинаковой длиной входных и выходных блоков:

$$d_{\min} = n - k + 1, \tag{5}$$

Исследование кодов

Исследования проводились в программном обеспечении *Simulink*, как составной части *MATLAB*, где были реализованы алгоритмы кодирования и декодирования кодов Хемминга, БЧХ и Рида – Соломона для заданной вероятности возникновения ошибки в канале связи (2 случая – P = 0,01 и P = 0,1), а также для заданного конкретного количества ошибок (от 0 до 8) в канале связи при различном времени моделирования (1 с, 10 с, 30 с) для различных кодовых комбинаций. Для наблюдения за поведением канала связи количество ошибок задавалось от 0 до i + 3, где i – максимальное количество ошибок, которое может исправить код.

На первом этапе проводились эксперименты, позволяющие оценить различие получения значений при вероятностном задании ошибки в канале, от задания конкретного числа ошибок при всех возможных случаях времени моделирования. Полученные результаты для кодов Хемминга (31,26), (63,57), (127,120), (255,247) показали, что задание вероятности ошибок или задание количества ошибок в канале связи на результат практически не влияет, из чего был сделан вывод, что данная замена допустима.

На втором этапе были исследованы коды БЧХ (9,5), (15,11), (31,21). Полученные результаты для кодов БЧХ были сопоставлены с результатами для кодов Хемминга, из чего был сделан вывод, что БЧХ-коды в 5–10 раз эффективнее кодов Хемминга при возникновении ошибок в канале связи.

На третьем этапе были исследованы коды Рида – Соломона (7, 3), (8, 4), (31, 21), (31, 29).

Полученные результаты были сопоставлены с полученными ранее результатами, из чего был сделан вывод, что коды Рида – Соломона обеспечивают максимальную исправляющую способность из представленных кодов. Избыточность кода можно настроить, что показано на примере кодов (31,21) и (31,29). При этом даже при принятии сообщения с ошибкой на 1 больше исправляющей способности, сообщение декодируется с минимальным искажением (рис. 2 и 3), что дополнительно позволяет варьировать параметры канала.

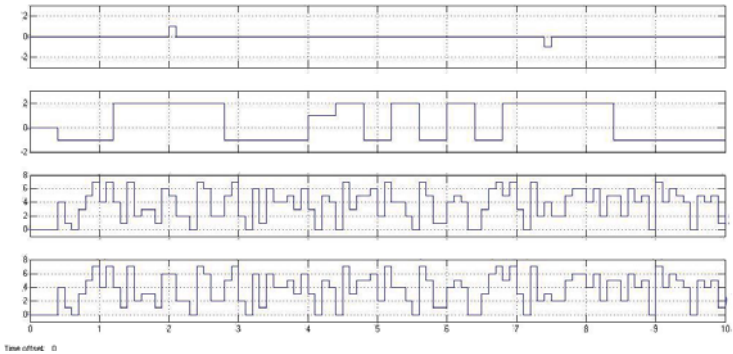


Рис. 2. Осциллограммы для трех ошибок в канале связи для кода Рида – Соломона (8, 4): *а* – ошибка при декодировании; *б* – ошибка в канале связи; *в* – исходное сообщение г) принятое сообщение

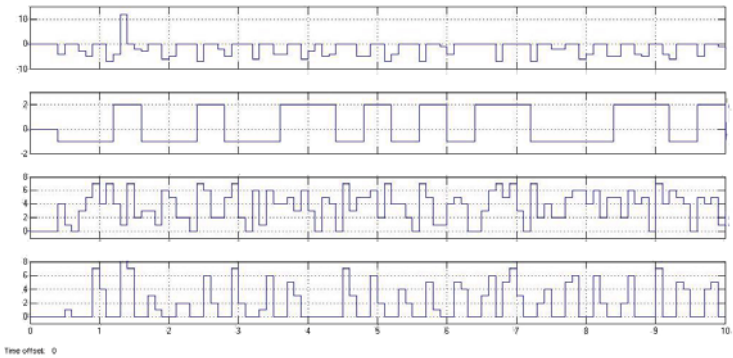


Рис. 3. Осциллограммы для четырех ошибок в канале связи для кода Рида – Соломона (8, 4): *а* – ошибка при декодировании; *б* – ошибка в канале связи; *в* – исходное сообщение; *г* – принятое сообщение

Список литературы

1. *Варакин, Л. Е.* Теория сложных сигналов. – М. : Изд-во «Советское радио», 1970. – 376 с.
2. *Сиващенко, С. И.* Скрытность радиосистем со сложными и хаотическими сигналами. – Харьков : Харьк. ун-т Воздушных сил им. И. Кожедуба, 2009.
3. *Гантмахер, В. Е.* Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка / В. Е. Гантмахер, Н. Е. Быстров, Д. В. Чеботарев. – СПб. : Наука и Техника, 2005. – 400 с. : ил.
4. *Банкет, В. Л.* Сигнально-кодовые конструкции в телекоммуникационных системах. – Одесса : Феникс, 2009. – 180 с.

УДК 621.396.2

Е. В. Поздеев, студент
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Определение эффективности радиотехнических систем с точки зрения взаимного влияния структурных характеристик сигналов на их вероятностные показатели

Информация, сообщение и сигнал, в своей совокупности, обладают пятью основными характеристиками: защищенность, длительность, ширина спектра, энергия и скрытность [1].

При разработке систем, с учетом случайного момента начала работы и неограниченности по времени работы, особое внимание уделяют повышению эффективности использования выделенного диапазона частот, защищенности от помех и скрытности работы в целом [2].

Применение помехоустойчивого кодирования позволяет повысить вероятность правильного приема, но за счет снижения скорости передачи. Выбором сигналов можно добиться повышения скорости передачи информации, но за счет верности передачи. При этом следует учитывать, что применение корректирующих кодов вносит задержку в передачу данных, что ухудшает такой показатель, как своевременность доставки информации.

Согласно теоремам Шеннона, возможно сколь угодно большое повышение верности передачи информации, если скорость передачи не превышает пропускной способности канала. Достигается это применением достаточно длинных корректирующих кодов. С этой целью в структуру корректирующих кодов вводится избыточность. В реальных условиях длина кода ограничена допустимой сложностью устройств кодирования-декодирования.

В общем случае результат работы системы связи определяется количеством и качеством передаваемой информации, где количество оценивается скоростью передачи информации по каналу $R_{\text{кан}}$ (бит/с), а качество – величиной ошибки. При этом могут быть определены следующие показатели эффективности:

– информационная эффективность системы, определяющая степень использования пропускной способности канала:

$$\eta = \frac{R_{\text{кан}}}{C}. \qquad (1)$$

© Поздеев Е. В., 2015

Достижение необходимых скорости и верности передачи сопровождается затратами таких ресурсов, как мощности сигнала P_C и полоса частот канала F_k. Такой подход позволил ввести показатели эффективности использования ресурсов системы, а именно:

– энергетическая эффективность:

$$\beta = \frac{R_{\text{кан}}}{P_C / N_0}, \tag{2}$$

где N_0 – спектральная плотность мощности шума;

– частотная эффективность:

$$\gamma = \frac{R_{\text{кан}}}{F}, \tag{3}$$

где F – полоса частот канала.

Показатели β и γ имеют смысл удельных скоростей, а обратные величины определяют расходы соответствующих ресурсов на передачу информации со скоростью 1 бит/с.

Полагаем, что на интервале T по каналу передается определенное количество независимых отсчетов N_T, тогда $D = \frac{N_T}{T}$ – число передаваемых отсчетов в единицу времени.

В этой модели могут быть определены следующие показатели:

– удельная скорость передачи информации:

$$R_N = \frac{R_{\text{кан}}}{D} \text{ (бит/отсчет)}; \tag{4}$$

– удельная информационная емкость канала:

$$C_N = \frac{C}{D} \text{ (бит/отсчет)}; \tag{5}$$

– удельная средняя энергия сигнала, затрачиваемая на передачу одного отсчета:

$$E_N = \frac{P_C}{D}; \tag{6}$$

– удельная эффективность использования пропускной способности канала:

$$\eta_N = \frac{R_N}{C_N} = \eta; \tag{7}$$

– удельная энергетическая эффективность:

$$\beta_N = \frac{R_N}{E_N / N_0} = \beta\,; \tag{8}$$

– удельная скорость передачи информации:

$$\gamma_N = R_N\,. \tag{9}$$

Переход к удельным показателям эффективности означает, что процесс формирования сигналов рассматривается в ортогональном базисе. При этом удается избежать неопределенности при оценке полосы частот.

Согласно теории потенциальной помехоустойчивости минимум вероятности возникновения ошибок на входе приемника обеспечивается следующим алгоритмом:

При различении двух сигналов $S_i(t)$ и $S_j(t)$ на фоне помехи $X(t)$ решение принимается о посылке сигнала $S_i(t)$ по критерию минимума квадрата расстояния (10).

$$\int_0^T [X(t) - S_i(t)]^2\,dt < \int_0^T [X(t) - S_j(t)]^2\,dt\,. \tag{10}$$

Таким образом, помехоустойчивость определяется набором взаимных расстояний между сигналами в ансамбле $\{d_{ij}\}$, где d – квадрат расстояния между сигналами i и j, и отношением $q = \frac{E_a}{N_a}$ энергии сигнала E_a, затрачиваемой на передачу бита информации к спектральной плотности мощности шума N_0.

Из вышесказанного следует процедура оптимизации ансамблей сигналов:

1. При заданном объеме ансамбля сигналов M векторы сигналов должны находиться в сигнальном пространстве на возможно большем взаимном расстоянии.

2. Такие задачи оптимизации расположений сигналов решаются в многомерной геометрии на основе теории пространственных точечных решеток.

3. Если координаты векторов сигналов совмещать с центрами пространственной точечной решетки, то построение ансамбля на основе решетки, занимающей некоторый объем при плотнейшей укладке, обеспечит максимум числа сигнальных точек и максимум удельной скорости:

$$\gamma_N = \frac{\log M}{N}\,. \tag{11}$$

Минимальное расстояние в таком ансамбле, определяющее помехоустойчивость, будет задано радиусами сфер, центры которых образуют решетку.

Возможны следующие типы ансамблей многопозиционных сигналов:

– ансамбли поверхностно-сферической укладки, в которых сигнальные точки расположены на одинаковых расстояниях от начала координат. Все сигналы таких ансамблей имеют одинаковые энергии. Практическое применение ансамблей сигналов с равными энергиями предпочтительно, поскольку алгоритм их оптимального приема не зависит от уровня сигнала;

– ансамбли объемно-сферической укладки, в которых сигнальные точки могут располагаться как на поверхности сферы, так и внутри нее.

По показателям плотности упаковки решетка двумерного пространства и кубическая решетка равноценны.

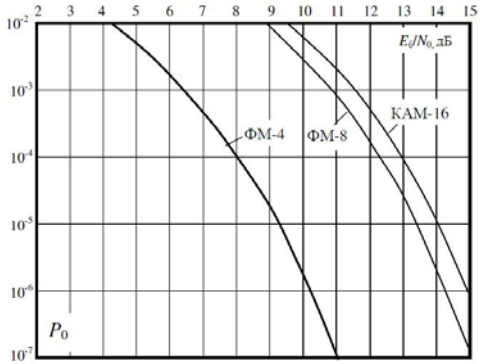
Ансамбли фазовой модуляции с числом сигнальных точек $M = 4$ (ФМ-4) и $M = 8$ (ФМ-8) являются типичными представителями ансамблей поверхностно-сферической укладки. Сопоставляя ансамбли с числом сигнальных точек $M = 8$, можно отметить, что в ансамбле АФМ-8 (амплитудно-фазовой модуляции) содержится 4 точки внутри сферы. Расчеты показывают, что амплитудная модуляция улучшения помехоустойчивости не дает и при этом приводит к усложнению алгоритма приема-передачи. Ансамбли квадратурной модуляции КАМ-М содержат точки, размещенные в узлах квадратной сети, которая обеспечивает плотность упаковки сигнальных сфер, близкую к максимальной.

На рисунке приведены результаты расчетов зависимостей вероятности ошибки оптимального приема сигналов P_0 многопозиционных ансамблей от отношения сигнал/шум E_a/N_0 для различных значений объема ансамбля $M = (4\ldots16)$. Видно, что с ростом числа позиций помехоустойчивость ухудшается [3] (рисунок).

В высокоэффективных системах широко используется ансамбль двумерных сигналов квадратурной амплитудной модуляции, который основан на структуре квадратной решетки двумерного пространства и обеспечивает как высокую плотность упаковки сигналов, так и простоту их формирования и демодуляции.

Выбор функции модуляции зависти от ансамбля сигналов и помех, действующих в канале связи. При демодуляции многопозиционных сигналов на выходе канала с помехами наиболее вероятными являются ошибки «переходов» передаваемого сигнала в сигналы многопозиционного ансамбля, расположенные от него на минимальном расстоянии Евклида. Ошибка декодирования будет минимальной, если наименьшим

расстоянием по Евклиду между сигналами будут соответствовать блоки кода с наименьшим расстоянием Хемминга.



Помехоустойчивость оптимального приема многопозиционных сигналов

Следует отметить характерную особенность результатов анализа эффективности: соотношение между энергетической и частотной эффективностью носит обменный характер, т. е. повышение энергетической эффективности возможно за счет снижения частотной эффективности и наоборот [2].

Список литературы

1. *Варакин, Л. Е.* Теория сложных сигналов. – М. : Изд-во «Советское радио», 1970. – 376 с.

2. *Банкет, В. Л.* Сигнально-кодовые конструкции в телекоммуникационных системах. – Одесса : Феникс, 2009. – 180 с.

3. *Гантмахер, В. Е.* Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка / В. Е. Гантмахер, Н. Е. Быстров, Д. В. Чеботарев. – СПб. : Наука и Техника, 2005. – 400 с. : ил.

УДК 621.391

И. В. Родионова, *И. А. Кайсина*, *А. М. Каримова*, студенты
А. И. Нистюк, д-р техн. наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Измерение джиттера в телекоммуникационных системах

Джиттером (*jitter* – дрожание) называется фазовая модуляция аналогового или цифрового сигнала. Джиттером называют отклонение времени прохождения пакета от среднего [1]. Другими словами, джиттер есть отклонение моментов стробирования сигнала от их номинальных положений. Визуально джиттер может выглядеть как на рис. 1.

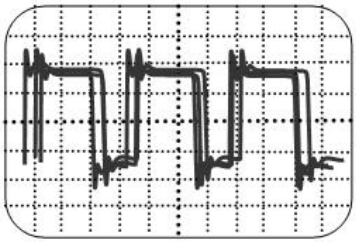


Рис. 1. Наблюдение джиттера на экране осциллографа

Джиттер напрямую снижает скорость передачи и обработки, что является определяющим в теории связи [2–5]. Большой джиттер вызывает дополнительные ошибки цифрового сигнала, а свойство накопления джиттера в итоге ставит под угрозу работоспособность устройства.

Измерение джиттера в цифровой связи является одной из определяющих и сложных проблем. Измерение джиттера требует применения систем, основанных на методах точных измерения в частотной области.

Причины, приводящие к джиттеру, различны, отсюда и поведение джиттера различно. По поведению джиттера можно с той или иной уверенностью выявить его причину. По поведению джиттер проявляется как случайный (*random jitter – RJ*) и как регулярный (*deterministic jitter – DJ*).

Регулярный (системный) джиттер может быть вызван следующими прчинами [4]:

© Родионова И. В., Кайсина И. А., Каримова А. М., Нистюк А. И., 2015

– типом принимаемой/передаваемой последовательности;

– наличием перекрестных помех;

– неправильной работой эквалайзеров;

– неправильной настройкой цепей восстановления данных;

– искажением коэффициента заполнения импульсной последовательности;

– периодичностью псевдослучайной последовательности;

– интерференция с цепями питания и другими источниками периодических электромагнитных полей;

– недостаточным согласованием линий (интерфейсный джиттер).

Нерегулярный джиттер чаще всего возникает в связи с шумами, происходящими в устройствах при прохождении тока в проводниках, полупроводниках и других компонентах. Поведение такого джиттера чаще всего подчиняется нормальному распределению Гаусса. В любом случае он характеризуется статистическими величинами. Источниками шумов, а, следовательно, появления случайного джиттера являются [4]:

– дробовый шум (*shot noise*) – шум электронов и дырок в полупроводниках, изменяющийся от тока смещения и зависящий от полосы частот;

– тепловой шум (*thermal noise*) – связан со случайным движением электронов в проводниках, который растет с увеличением температуры и теплового сопротивления;

– шум мерцания (*flicker noise*) – шум, ширина спектра которого обратно пропорционален частоте.

Кроме этого, для возникновения джиттера в системах связи имеются и другие причины, непосредственно связанные с технологией цифровых телекоммуникаций. В этих случаях джиттер возникает из-за обработки сигналов в цифровых системах передачи и является алгоритмическим.

Существует несколько способов наблюдения джиттера, каждый из которых способен прояснить некоторые параметры джиттера. Универсального способа измерения не существует, отсюда и возникают проблемы выбора вида измерений для полноты картины и выбора правильного решения.

Среди наиболее распространенных способов можно выделить:

– глазковую диаграмму (*eye pattern*);

– гистограмму во временной области (*Time Interval Error – TIE*);

– спектральный анализ (*FFT* анализ);

– *U*-кривую.

Глазковая диаграмма представляет собой результат многократного наложения битовых периодов измеряемого сигнала друг на друга, что отображается на экране осциллографа как диаграмма распределения амплитуды сигнала по времени. То есть изображение сигнала от начала второго периода до начала третьего периода накладывается на изобра-

жение сигнала от начала первого периода до начала второго периода, и т. д. для последующих битовых периодов.

Гистограмма представляет собой накопление разброса значений, соответствующих измеряемому параметру (величина, которая отмечается по оси времени и представляет собой момент появления импульса). Основным преимуществом гистограмм является распределение частоты значений ошибки временного интервала (*Time Interval Error – TIE*) для всех битовых переходов измеряемого сигнала. *TIE* – это разница во времени между действительной и ожидаемой точками пересечения на глазковой диаграмме. Гистограмма значений *TIE* – это основной набор данных для процедур выделения джиттера, требуемых различными стандартами цифровых шин.

U-образная кривая ничто иное, как график зависимости частоты ошибок по битам (*BER*). Значение ошибок зависит от выбранного уровня считывания сигнала в единичном интервале (*UI*). *U*-образная кривая является границей безошибочной передачи при выбранном допустимом уровне *BER*. Чем больше временной промежуток между левой и правой частью кривой, тем больше запас устойчивости к дрожанию сигнала. И наоборот, чем ближе края кривой друг к другу, тем меньше запас устойчивости. *U*-образная кривая также может использоваться для анализа причин возникновения джиттера, выдвинуть гипотезу распределения ошибки, визуально оценить отклонение случайной компоненты.

Также достаточно информативным методом исследования является частотный анализ (*FFT*-анализ) поведения джиттера. Путем определения параметров регулярной и случайной составляющих джиттера в большинстве случаев можно выявить место его появления, а также причины возникновения.

Анализируя способы наблюдения джиттера, нетрудно заметить, что «глазковая диаграмма» является наиболее информативным, простым и наглядным методом.

Глазковые диаграммы при построении основаны на периодической структуре цифрового сигнала. Классически диаграмма строится путем наложения волнового фронта сигнала с периодом одного отсчета внешней синхронизации. За счет послесвечения люминофора экрана линия фронта размывается и становится возможным измерить величину джиттера.

При этом по оси ординат откладывается амплитуда сигналов, по оси абсцисс – время, то есть глазковая диаграмма – это суммарный вид всех битовых периодов измеряемого сигнала, наложенных друг на друга. Другими словами, изображение сигнала от начала второго периода до начала третьего периода накладывается на изображение сигнала от на-

чала первого периода до начала второго периода, и т. д. для последующих битовых периодов.

Анализ глазковых диаграмм позволяет определить множество параметров цифрового сигнала, связанных с джиттером (рис. 1 и 2).

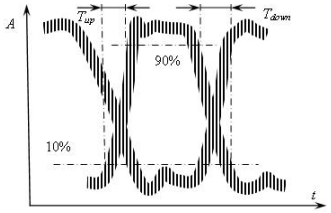


Рис. 2. Время нарастания и спада импульса по уровням в 10 и 90 %

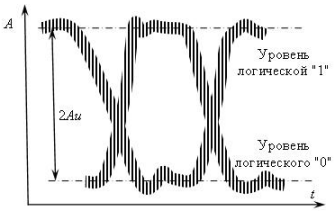


Рис. 3. Глазковая диаграмма и логические уровни сигнала.

Измерения по оси времени:
– величина джиттера;
– единичный интервал импульса;
– ширина «глаза»;
– время нарастания сигнала;
– время спада сигнала.

Измерения по оси амплитуд:
– уровня логической «1»;
– уровня логического «0»
– раскрыва глазковой диаграммы (глазковой высоты);
– уровня глазкового пересечения;
– отношение «сигнал – шум».

В ходе измерений было отмечено, что значения джиттера отличаются по величине в зависимости от уровня, на котором проводились измерения. В результате для увеличения точности измерения джиттера предлагается их проводить на различных (минимум на трех) уровнях сигнала с последующим усреднением.

Список литературы

1. RFC 3393 IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM), 2002. – 21 p. – URL: http://tools.ietf.org/html/rfc3393

2. *Филимонов, А. Ю.* Построение мультисервисных сетей Ethernet. –СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 592 с.

3. Этапы разработки электронных средств и конструкторская документация : учеб.-метод. пособие для направлений 210200 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» и 210300 «Радиотехника» / А. И. Нистюк [и др.]. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2008. – 33 с. : ил.

4. *Сухоруков, А. С.* Теория цифровой связи : учеб. пособие. – Ч. 2. – М. : МТУСИ, 2008. – 53 с.
5. *Кропачев, Л. А.* Основы теории информации : учеб. пособие для вузов. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2011. – 365 с.

УДК 004.042

Е. А. Скороварова, студентка
М. М. Павлова, ст. преподаватель
А. В. Чунаев, аспирант
А. В. Абилов, канд. техн. наук, доцент
О. Д. Сергеева, студентка
E-mail: mariya.m.pavlova@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Приложения и протоколы для передачи потоковых данных по сети Интернет

Сегодня многие пользователи Интернета не любят ждать, пока загрузится нужный им файл для воспроизведения, и все чаще используют технологию потокового вещания. Потоковое вещание – это доставка мультимедийных потоков информации (аудио или видео) удаленным пользователям, в режиме реального времени. Используя эту технологию, программа или браузер клиента начинает воспроизведение принимаемых данных, не дожидаясь загрузки всего мультимедийного материала.

Изначально потоковая трансляция применялась для передачи аудиофайлов, но вскоре появилась возможность для видеотрансляции. Потоковая передача используются для трансляции мультимедийных потоков в реальном режиме времени (трансляции спортивных соревнований, концертов, спектаклей или выступлений на конференциях и т. д.) удаленным пользователям, видео по запросу, трансляции по плейлистам (воспроизведение файла, хранящегося на жестком диске сервера), трансляции с IP-камер и т. д.

Для того чтобы видео- или аудиосигналы можно было воспроизвести на компьютере, смартфоне или планшете, им необходимо пройти долгий путь, от места хранения данных (сервера) до конечного устройства. Схема организации передачи потокового мультимедиа представлена на рис. 1.

© Скороварова Е. А., Павлова М. М., Чунаев А. В., Абилов А. В., Сергеева О. Д., 2015

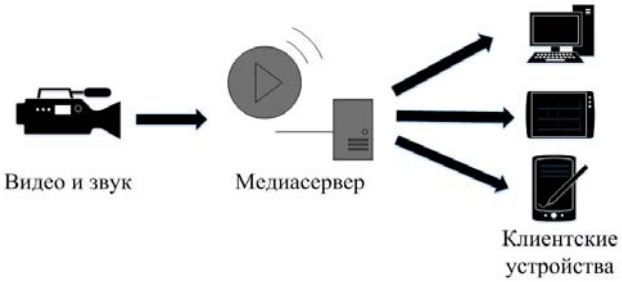


Рис. 1. Передача потоковых данных с использованием медиасервера

Сервер потокового вещания или медиасервер – это специализированный сервер, который не только хранит на своем жестком диске аудио- и видеоданные, но обрабатывает сигналы. Основными функциями таких серверов является прием, запись, хранение, воспроизведение аудио- и видеосигналов, потоковых мультимедиа и др.

В настоящее время наиболее часто используются следующие медиасерверы: *Adobe Flash Media Server*, *Wowza Media Server*, *Erlyvideo*, *NGINX-RTMP*, *Flussonic*, *Red5*, *Microsoft IIS Media Services* [2].

Adobe Flash Media Server – коммерческий сервер данных и медиа контента от компании *Adobe Systems*. Существует несколько версий данного продукта, которые отличаются между собой стоимостью, количеством одновременных подключений и набором функционала, который они в себя включают.

Wowza Media Server имеет только две версии продукта. Одна из них бесплатная, позволяющая одновременное подключение 10 клиентов, и коммерческая версия, которая не имеет ограничений. Последняя версия продукта в настоящее время – это *Wowza Streaming Engine*. В отличие от *Adobe Media Server*, *Wowza* имеет поддержку протоколов вещания *RTP/RTSP*, что дает ему определенное преимущество во многих проектах. По стабильности работы *Wowza*-сервер сравним с *Adobe Media Server*.

Erlyvideo – это относительно новый медиасервер, работающий на платформе *Erlang*. Существует платная и бесплатная версии данного продукта. Основная особенность данного сервера – его модульность и масштабируемость. Широкий функционал сервера реализован на основе модулей, которые могут приобретаться по отдельности.

Как известно, мультимедиа файлы имеют большие размеры, что затрудняет их передачу по сети. Использование кодеков позволяет уменьшить исходный размер файла, сохраняя при этом максимально хорошее качество. Кодеки преобразуют данные (сигнал) на стороне ис-

точника, кодируя его для передачи, хранения или шифрования и соответственно могут раскодировать его для просмотра на стороне пользователя. Самые распространенные видео кодеки: DivX, x264, XviD, Cinepak, SIF1 и др., аудио кодеки – MP3, MP4, AAC, FLAC, DTS.

Наиболее популярными являются кодеки на основе стандарта MPEG-4, который используют во всем мире для сжатия цифрового аудио и видео. К ним относятся такие кодеки, как DivX, x264, XviD, упомянутые выше. Кодеки *Cinepak* чаще используются при сжатии фильмов. Кодек SIF1 оптимизирован для эффективного сжатия видео высокого и среднего разрешения, в том числе с большим уровнем шумов в исходном сигнале.

Для того чтобы просматривать видео на конечном устройстве, необходимы программы, предназначенные для воспроизведения мультимедиа файлов – медиаплееры. Последние пять лет чаще всего используют технологию *Flash* [3]. Устройства, которые поддерживают данную технологию, как правило, для воспроизведения мультимедийных потоков загружают в веб-браузере один из *Flash*-плееров: *Flowplayer*, *JW Player* или *Strobe Media Playback*. Возможности каждого плеера зависят от функций, которые представили разработчики. В последнее время хорошо зарекомендовал себя стандарт HTML5. Многие аналитики отдают свое предпочтение медиаплеерам, которые работают на основе этого стандарта: *Projekktor*, *FryPlayer*, *VideoJS* и др. В интернет-браузерах, таких как *Mozilla Firefox*, *Google Chrome*, *Safari* используются встроенные медиаплееры на основе HTML5. Опрациoнные системы *Android* и *iOS* (устроства марки *Apple*) не поддерживают *Flash* и работают на HTML5.

Передаваемый поток данных можно представить как последовательность порций данных прикладного уровня (фрагментов) модели *OSI*, информацию в которой можно разделить на два типа: управляющую информацию (заголовок) и полезную информацию [4, 5].

На рис. 2 приведен пример формата фрагмента данных, используемый протоколом *SCTP* (*Stream Control Transmission Protocol* – протокол передачи с управлением потоком) [1].

Заголовок фрагмента	Тип фрагмента (Chunk Type)	Флаг фрагмента (Chunk Flags)	Длина фрагмента (Chunk Length)
Полезные данные	Данные (Chunk Data)		

Рис. 2. Формат фрагмента данных для *SCTP*

Для передачи управляющей информации используется надежные протоколы транспортного уровня *TCP* или *SCTP*, в то время как для доставки полезной информации ненадежные протоколы: *UDP* и *RTP*.

Протокол *TCP* (*Transport Control Protocol* – протокол управления передачей) обеспечивает надежную доставку данных и контроль качества обсуживания, с помощью алгоритма коррекции потерь данных *ARQ* (*Automatic Repeat-reQuest* – автоматический запрос повторной передачи). Заголовок протокола *UDP* (*User Datagram Protocol* – протокол пользовательских дейтаграмм) не обеспечивает достаточный контроль качества облуживания и поэтому считается ненадежным. Протокол *RTP* (*Real-Time Transport Protocol* – транспортный протокол реального масштаба времени) имеет возможность компенсации джиттера, задержки фрагментов и детектирования нарушения их последовательности – типичных событий при передаче данных через IP-сети по протоколу *UDP*.

В общем случае *RTP*-пакет может включать в себя несколько фрагментов данных прикладного уровня. *RTP*-пакет, поступивший от прикладного уровня, предваряется *UDP*-заголовком (заголовок *RTP* вставляется поверх заголовка *UDP*), и сформированная таким образом *UDP*-дейтаграмма отправляется на сетевой уровень. Протокол *UDP* рассматривает фрагмент как единое сообщение, не разбивая его для передачи в нескольких IP-пакетах и не объединяя несколько сообщений для пересылки в одном IP-пакете (рис. 3).

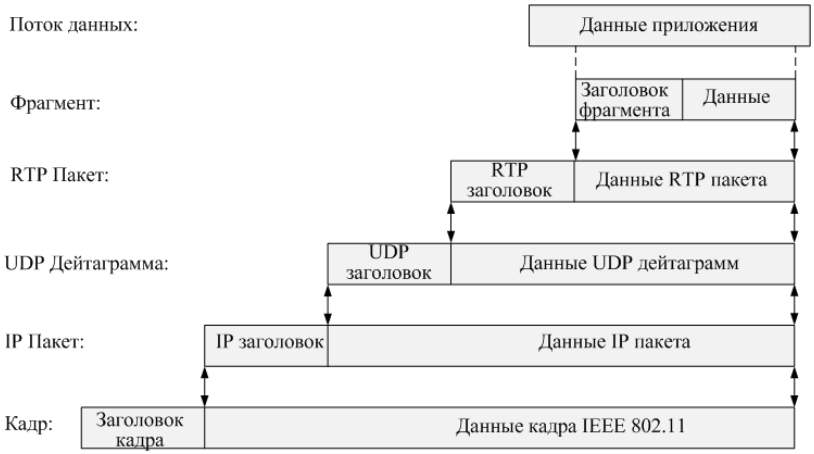


Рис. 3. Пример инкапсуляции фрагмента данных в стеке TCP/IP

Таким образом, каждый фрагмент передается отдельным пакетом сетевого уровня. Далее на канальном уровне идет преобразование кадров в данные стандарта 802.11.

Разнообразие приложений и серверного программного обеспечения для передачи потокового мультимедиа ведет к активному использованию пользователями данной технологии. С ростом популярности потокового вещания совершенствуются и развиваются и технологии, на основе которых оно реализовано.

Список литературы

1. RFC 3286 // RFC-Editor Webpage. – URL: http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3286.txt (дата обращения: 09.11.2014).

2. *Забровский, Анатолий.* Flash-плееры: Flowplayer, JW Player, Strobe Media Playback. Какие использовать? // IT и Мультимедиа. – URL: http://itmultimedia.ru/flash-pleery-flowplayer-jw-player-strobe-media-playback-kakie-ispolzovat (дата обращения: 10.11.2014).

3. *Мирный, Арсений*. HTML5 против Flash-видео // UP Special. – 2010. – № 5. – С. 42–45.

4.*Павлова, М. М*. Математическая модель передачи потоковых данных прикладного уровня по беспроводным каналам связи / М. М. Павлова, А. В. Абилов // T-comm : спецвып. по итогам 7-й Отраслевой науч. конф. «Технологии информационного общества». – Инфокоммуникационно-управленческие сети. Расчет и оптимизация систем связи. – 2013. – № 7. – 142–146.

5.*Васильев, Д. С*. Анализ проблем программной реализации передачи потоковых данных в одноранговых сетях со структурой многослойного дерева : сб. материалов II Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых / Д. С. Васильев, А. В. Чунаев, А. В. Абилов. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013.

УДК621.391.8

П. А. Спиридонова, студентка
М. М. Павлова, ст. преподаватель
E-mail: spiridonowa@inbox.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Усиление сигнала сети Wi-Fi

На сегодняшний день четверть семей в мире используют беспроводные сети Wi-Fi для доступа в Интернет, и число их неуклонно растет. Эксперты *Strategy Analytics* утверждают, что к концу 2014 г. более 65 % семей

© Спиридонова П. А., Павлова М. М., 2015

(450 млн) из всех, использующих фиксированный широкополосный доступ, будут использовать беспроводные Wi-Fi-сети в собственных домах. На первом месте по степени проникновения домашних беспроводных сетей расположилась Голландия, где 80,4 % семей пользуются Wi-Fi; на втором месте – Южная Корея (76,4 %), и замыкает тройку лидеров Норвегия (76,2 %) [1].

Бренд Wi-Fi (сокращение от *Wireless Fidelity*) продвигается организацией *Wi-Fi Alliance*, но все технические параметры сети определяются семейством стандартов IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ad [2]. В зависимости от используемого стандарта меняется радиус зоны действия сети, скорость передачи данных и частота вещания. В табл. 1 приведены основные характеристики стандартов IEEE 802.11 [3].

Таблица 1. **Характеристики стандартов IEEE 802.11**

Протокол	Частота (ГГц)	Теоретическая скорость (Мбит/с)	Практическая скорость (Мбит/с)	Дальность связи в помещении (м)	Дальность связи на открытом пространстве (м)
802.11b	2.4	11	4	35	140
802.11a	5	54	24	35	120
802.11g	2.4	54	24	50	250
802.11n	2.4 и 5	600	450	100	450
802.11ac	5	1300	866	230	700
802.11ad	60	7000	-	10	10

К достоинствам Wi-Fi можно отнести:

– высокую мобильность пользователей,

– отсутствие проводов,

– быструю реконфигурацию и масштабируемость,

– простоту и скорость развертывания сети,

– низкую стоимость организации и обслуживания.

Несмотря на преимущества беспроводных сетей и перспективы глобального проникновения, им присуще немало минусов:

– ограниченный радиус действия,

– зависимость скорости доступа от среды распространения (типа перегородок зданий, погодных условий, наличия оборудования работающего на той же частоте и т. д.),

– возможна нестабильность сигнала,

– низкая безопасность сети.

Поскольку в локальных беспроводных сетях средой распространения сигнала является радиоэфир, то на их работу воздействует большое количество помех. Источниками естественых помех являются молнии,

флюктуации магнитных полей, всплески солнечной энергии и т. д. Искусственные помехи образуются как результат электромагнитных процессов в технических устройствах [4]. Причинами помех и ослабления сигнала могут служить:

1. Различные устройства, которые находятся в радиусе действия вашего устройства и используют тот же частотный диапазон, чаще всего 2,4 ГГц (*Blutooth* устройства, микроволновые печи, радионяни, другие точки доступа Wi-Fi и т. д.).

2. Большие расстояния между устройствами.

3. Преграды на пути сигнала (стены, межэтажные перекрытия, мебель, зеркала, металлические двери и т. д.).

Говоря об усилении сигнала Wi-Fi, в первую очередь имеют в виду расширение зоны покрытия сети. Уменьшив количество стен и заграждений между точкой доступа и устройством пользователя, убрав все источники радиопомех или выбрав точку доступа Wi-Fi с более мощной антенной, можно автоматически решить эту проблему [5]. Для расширения зоны действия Wi-Fi можно применить ряд устройств.

1) Репитер – это усилитель беспроводной сети, работающий в качестве ретранслятора сигнала (рис. 1). Репитер дает возможность расширить существующую Wi-Fi-сеть и устранить «мертвые зоны» [6]. Репитер подключается в сеть электропитания, получая полезный сигнал от Wi-Fi-роутера, и расширяет зону действия сети. К известным моделям репитеров Wi-Fi можно отнести: TP-Link-WA850RE, Hyawei WS320, поддерживающие работу с беспроводными сетями стандартов 802.11b/g/n и расширяющие зону действия на 20–50 м.

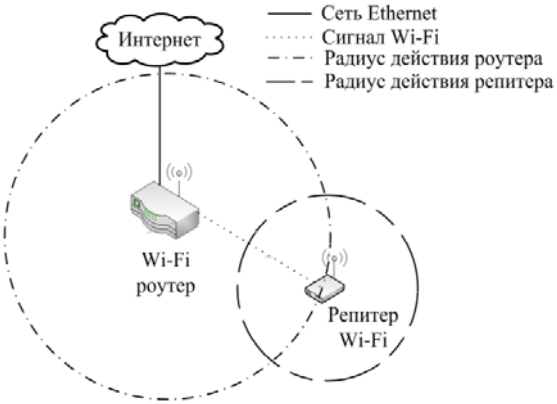


Рис. 1. Схема работы репитера Wi-Fi

2) Роутер повышенной мощности – это высокомощный беспроводной маршрутизатор стандартов 802,11b/g/n/ac с дополнительными антеннами, который расширяет зону покрытия беспроводной сети Wi-Fi на 150 м (в помещении) и на 1000 м (на открытом пространстве) (рис. 2). Фирмы, производящие такие устройства: *Ubiquiti*, *MikroTik*, *Alfa*, *Deliberant*.

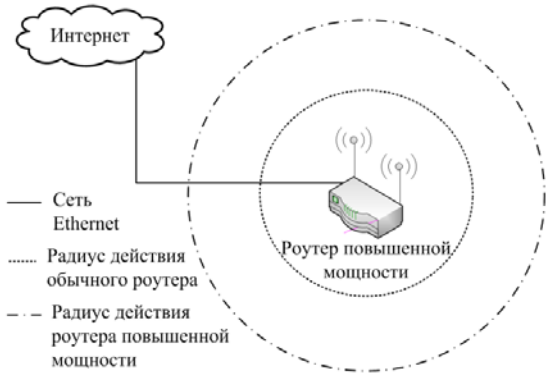


Рис. 2. Схема работы роутера повышенной мощности

3) Внешняя Wi-Fi-точка доступа – это всепогодная точка доступа стандартов 802.11a/b/g/n/ac со встроенной антенной, которая устанавливается на улице и служит для усиления сигнала, что позволяет увеличить зону покрытия сетей. Существуют два типа внешних точек доступа: с круговой антенной и с направленной. Различаются они по характеру распространения волн. Круговая антенна излучает сигнал по кругу 360 градусов (рис. 3, *а*), а направленная лишь на определенный сектор (рис. 3, *б*). Чем больше мощность излучаемого сигнала, тем на большем расстоянии можно установить связь с сетью.

Можно использовать сразу несколько точек доступа, что тоже расширит зону действия сети. Точки доступа могут подключаться друг к другу кабелями *Ethernet* или по беспроводным каналами связи.

Таким образом, расширить зону действия беспроводной сети Wi-Fi можно разными способами. Из рассмотренных: репитер или роутер повышенной мощности подойдет для усиления домашней сети, используемой на большой территории или небольшой офисной сети. А для больших офисных или корпоративных сетей подойдут внешние точки доступа Wi-Fi или комбинированные решения. Практика показывает, что во многих офисах, торговых центрах, домах, используют несколько точек доступа, т. к. это самый экономный способ.

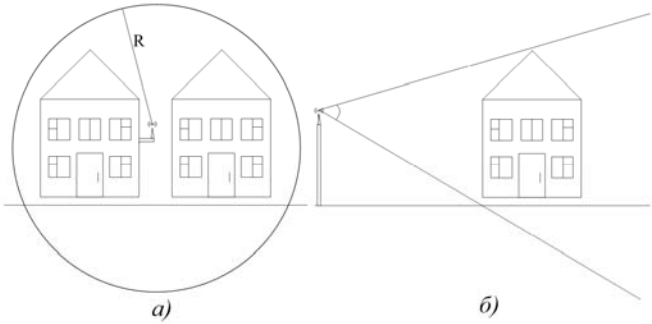


Рис. 3. Внешняя точка доступа: с круговой антенной (*а*);
с направленной антенной (*б*)

Список литературы

1. 25 Percent of Global Households have Wi-Fi in 2014 // Strategyanalytics. URL: http://www.strategyanalytics.com/ default.aspx?mod=pressreleaseviewer&a0=5616. (дата обращения: 09.11.2014).

2. *Гейер, Д.* Беспроводные сети. Первый шаг // Беспроводной мир: введение в концепцию. – М. : Издат. Дом «Вильяме», 2005. – С. 192.

3. *Пролетарский, А. В.* Беспроводные сети Wi-Fi / А. В. Пролетарский, И. В. Баскаков, Д. Н. Чирков // Организация беспроводных сетей. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – С. 178.

4. *Олифер, В. Г.* Компьютерные сети / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер // Принципы, технологии, протоколы : учеб. для вузов. – 3-е изд. – СПб. : Питер, 2006. – 958 с.

5. Как усилить беспроводной сигнал. – URL: http://www.kakprosto.ru/kak-87070-kak-usilit-besprovodnoy-signal/ (дата обращения: 23.10.2014).

6. Усиление Wi-Fi сигнала. – URL: http://www.shop-wifi.ru/усиление-сигнала-wifi-усилитель/ (дата обращения: 23.10.2013).

УДК 621.391.1

Р. А. Хатбуллин, канд. техн. наук, доцент
Р. С. Быков, магистрант
Ю. В. Кружалова, магистрант
E-mail: rombikov@li.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Устройства и принципы кодирования речи

Первоначально вокодер был разработан в 30-х годах прошлого века как кодировщик речи для ее передачи по радиоканалу и проводным линиям связи. Его основная задача – максимально удалить избыточность оригинального звукового сигнала так, чтобы разборчивость речи оставалась не ниже порога, установленного стандартами [1–3].

На современном этапе развития телекоммуникационных систем необходимость развития вокодеров обусловлена ростом количества требуемых голосовых каналов для их передачи по различным каналам связи. Обработанный сигнал имеет сравнительно низкую скорость цифрового потока или занимает узкую полосу частот в аналоговой форме, что и позволяет увеличить количество голосовых каналов.

В современных системах цифровой радиосвязи поиск избыточности происходит при моделировании процесса речеобразования, который можно разделить на два основных этапа – образование гласных и согласных. Для передачи слов достаточно передавать код произносимого звука и синтезировать этот звук на принимающей стороне. Но, поскольку необходимо передать не только слова, но и голос, интонацию, вокодеры передают еще и такие параметры, как громкость, основной тон, отклонение от стандартной модели звука.

Таким образом, по линии связи не передается код избыточного оригинального звукового сигнала, за счет чего осуществляется уменьшение скорости цифрового потока. При использовании простых звуковых кодеков, оригинальный звуковой сигнал передается в упрощенном виде. При сильном сжатии голоса обычным звуковым кодеком, компоненты речи могут быть искажены настолько, что возникнут проблемы с восприятием речи и голоса человеком.

Сегодня существует большое количество цифровых вокодеров с различными параметрами качества восстановленного голоса, скорости цифрового потока и времени задержки сигнала. Работа таких систем базируется на рекомендациях и стандартах, которые могут быть реали-

© Хатбуллин Р. А., Быков Р. С., Кружалова Ю. В., 2015

зованы в устройствах голосовой связи на основе цифровой обработки сигналов. Рассмотрим и сравним параметры и характеристики некоторых систем.

Рекомендация ITU-T G.723.1 – двухскоростной вокодер для мультимедийных коммуникаций. На высокой скорости 6,3 кбит/с обеспечивает хорошее качество речи, на низкой скорости 5,3 кбит/с качество речи остается приемлемым, но появляется запас для помехозащищающего кодирования или для введения дополнительных голосовых каналов. Переключение между скоростями возможно практически в любой момент времени. Кодер основывается на принципе линейного предсказания с анализом через синтез.

К рекомендации G.723.1 существует «Приложение А». Его суть в добавлении классификатора входного сигнала, который определяет паузу на входе. В эти моменты информационный поток замедляется до 1 кбит/с и менее. Чтобы слушатель не сомневался в наличии сигнала, вместо полной тишины передается информация о фоновом шуме. В среднем, каждый абонент во время телефонного разговора молчит большую часть времени (например, пока слушает собеседника или делает паузы между словами). Поэтому определение пауз значительно снижает среднюю скорость цифрового потока.

Один из наиболее общепринятых и давно используемых алгоритмов сжатия речи называется ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation, стандарт G.726 был принят в 1984 г.). В основе метода лежит тот факт, что в речевом сигнале не бывает резкого изменения интенсивности. Код содержит не восьмиразрядное значение амплитуды, как простой оцифрованый звук (PCM код), а разницу между предыдущим и текущим ее значением. В зависимости от количества разрядов разницы скорость выходного потока может быть от 16 до 40 кбит/с.

Большую популярность среди вокодеров получила CELP-модель. Алгоритм CELP (Code Excited Linear Prediction) построен на модели кодирования с использованием линейного предсказания и векторного квантования – сигнал пропускается через полосовые фильтры и частоты квантуются отдельно. В настоящее время CELP образовывает целый класс речевых кодеков:

– Федеральный стандарт FS1016. Скорость выходного потока – 4,8 кбит/с;

– Рекомендация ITU-T G.729 с многочисленными приложениями. Скорость потока на выходе – 8 кбит/с;

– Вокодер CELP4600 – скорость 4,6 кбит/с;

– Вокодер VSELP (Vector Sum Excited Linear Prediction) – 8кбит/с.

Федеральный стандарт MELP – более современный алгоритм, предусматривающий скорость выходного потока 2400, 1200 и 600 бит/с. Используется вооруженными силами НАТО. Качество речи соответствует низкой скорости передачи данных, но внятные слова вполне разборчивы.

Современные микропроцессоры, используемые в телекоммуниикационных устройствах, имеют очень высокую производительность, поэтому современные вокодеры основаны на сложных алгоритмах квантования, предсказания, сравнения, поиска и кодирования. Все они представляют собой компромисс между малым объемом кодированной информации и хорошим качеством речи. Если скорость потока достигает 8 кбит/с, то его вполне достаточно для комфортного восприятия восстановленной речи, тогда как на скорости потока 4 кбит/с ощущается значительная потеря качества.

В будущем модернизация алгоритмов кодирования речи не принесет существенных изменений в вокодерных устройствах, т. к. на сегодня их развитие уже не так ограничено вычислительными ресурсами техники связи, как это было 20–30 лет назад. Применение новых математических решений не сделает скорость потока меньше, чем скорость передачи полезного объема информации во время разговора.

Список литературы

1. *Прокис, Дж.* Цифровая связь / пер. с англ. ; под ред. Д. Д. Кловского. – М. : Радио и связь, 2000. – 800 с.

2. *Нейман, В.* Кодирование речи в цифровых системах сотовой связи // Радио. – 1999. – № 9.

3. Компоненты H323 // IP телефония. – URL: http://iptop.net/tech/h323_1.html (дата обращения: 20.10.2014).

УДК 681.586

Н. А. Холмогоров, магистрант
А. Н. Копысов, канд. техн. наук, доцент
E-mail: kan_kan@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование уязвимостей системы IP-телефонии

VoIP (*Voice-over-IP*) – это система связи, которая позволяет обеспечивать передачу речевого сигнала по сети Интернет или по другим IP-

© Холмогоров Н. А., Копысов А. Н., 2015

сетям. IP-телефония – это голосовое и видеообщение по глобальной сети, реализуемое при помощи различных наборов коммуникационных протоколов и технологий, использующих IP как основное средство передачи голоса. В настоящее время IP-телефония захватывает все большие сегменты рынка телефонии благодаря возможности быстрой установки, легкости управления, низкой стоимости разговоров, простого и удобного интерфейса [1–7].

В традиционной телефонии соединение происходит при помощи телефонной станции и служит исключительно для разговора. Передача голосовых данных здесь происходит посредством выделенного подключения. В IP-телефонии передача информации происходит следующим образом: голос оцифровывается, сжимается и делится на адресуемые пакеты. Пакеты с определенным адресом поступают в глобальную или локальную сеть, после этого передаются на основе полученного адреса. Затем происходит процесс декодирования. Использование адресуемых пакетов позволяет занимать канал только во время передачи пакета и по завершению освобождать канал для передачи других пакетов. Таким образом, IP-телефония оказывается более дешевым решением для оператора и абонента. К недостаткам традиционных телефонных сетей можно отнести то, что они обладают избыточной производительностью, в то время как IP-телефония использует технологию сжатия голосовых пакетов и полностью использует емкость телефонной линии. На сегодняшний день возможность подключения к интернету есть у многих, что позволяет снизить затраты на подключение или совсем исключить их. Звонки в корпоративной или локальной сети могут использовать облачный или внутренний сервер и не использовать сторонние АТС. В частных сетях возможна более детальная настройка АТС. Можно изменять различные параметры, такие как ширина полосы пропускания, количество абонентов на одной линии, запись разговоров, создание резервных копий и добавление различных правил и ограничений на звонки. Сети с коммутацией пакетов постоянно совершенствуются, появляются новые протоколы, технологии и методы позволяющие улучшить качество связи.

Одна из основных проблем IP-телефонии – это то, что множество протоколов, построенных на базе стека TCP/IP, передают данные в открытом виде, в том числе протоколы IP-телефонии. Примером некоторых из возможных угроз, которым подвержена IP-телефония является: перехват трафика, DDoS-атаки, подмена номера, неожидаемые исходящие вызовы, несанкционированное изменение конфигурации, кража базы абонентов, мошенничество со счетом.

Перехват данных – это одна из основных проблем как обычной телефонии, так и IP-телефонии. В случае с IP-телефонией риск перехвата

выше, т. к. злоумышленнику не нужен физический доступ к телефонной линии. Перехватив голосовой IP-трафик, можно восстановить исходные переговоры. Для этого существуют специальные средства (*Voice Over Misconfigured Internet Telephones – VOMIT*). Они преобразуют перехваченный трафик в WAV-файл. Следует отметить, что подобные анализаторы протоколов свободно распространяются в сети.

Перехват данных возможен как изнутри корпоративной сети, так и снаружи. Но если во внутренней сети несанкционированно подключенное устройство можно обнаружить, то во внешней сети заметить подключения практически невозможно. Вследствие этого любой открытый (незашифрованный) трафик, выходящий за пределы корпоративной сети, считается небезопасным.

В отличие от IP-телефонии, даже в случае высоких нагрузок, традиционная телефонная связь может всегда обеспечить качество связи. Высокая нагрузка на сеть передачи оцифрованных голосовых данных вызывает существенное искажение и даже пропадание части сообщений. Одна из популярных атак на IP-телефонию заключается в посылке на сервер IP-телефонии большого числа «шумовых» пакетов, так называемой атаки – «отказ в обслуживании» (DoS-атаки). Одно из решений данной проблемы – резервирование полосы пропускания (RSVP) и МСЭ.

Для связи в обычной телефонной сети используется номер абонента, в то время как в IP-телефонии роль такого телефонного номера выполняет IP-адрес. Таким образом, злоумышленники могут использовать подмену адреса и выдать себя за нужного вам абонента. Данную проблему стараются решить на уровне VoIP-стандарта.

Абонентские пункты, реализованные на персональном компьютере, менее защищены, чем специальные IP-телефоны. Также это касается и других компонентов на программной основе. Это связано с тем, что подобное программное обеспечение является уязвимым со стороны самого компьютера и его компонентов. Поскольку компьютер является составляющей IP-телефонии и имеет уязвимости, то он так же может повлиять на работу сети в целом.

Также возможна атака на серверы, которые хранят информацию о пользователях (имена абонентов, время, продолжительность разговоров и т. д.), как для получения конфиденциальной информации о самих разговорах, так и с целью управления различными данными.

Поскольку оцифрованный голос обычно проходит по тому же кабелю и через то же сетевое оборудование, что и стандартный трафик, необходимо правильно разграничивать между ними информационные потоки. Реализовать это можно как физически, так и с помощью механизма *VLAN*. Серверы, используемые в сети IP-телефонии, лучше всего

перенести в отдельный сетевой сегмент. В свою очередь, данный сегмент стоит обеспечить не только встроенными в коммутаторы и маршрутизаторы средствами защиты, но и с помощью дополнительных систем (межсетевые экраны, системы обнаружения атак, системы аутентификации и т. д.).

Необходимо ограничить или запретить доступ пользователей к сетевому оборудованию, в том числе и коммутаторам, и по возможности все серверное оборудование разместить в специально оборудованных комнатах. Можно использовать достаточно простые способы защиты инфраструктуры *VoIP*, такие как контроль MAC-адресов. Нельзя разрешать IP-телефонам с неизвестными MAC-адресами получать доступ к шлюзам и иным элементам IP-сети, передающей голосовые данные. Узлы (в основном шлюзы, диспетчеры и мониторы) следует настраивать таким образом, чтобы блокировать все попытки несанкционированного доступа к ним.

Обеспечивать шифрование необходимо как между шлюзами, так и между абонентским оборудованием и шлюзом. Это позволит защитить весь путь, который проходят голосовые данные. Однако этот механизм практически никогда не задействуется, т. к. обеспечение качества передачи данных является главной задачей, а непрерывное шифрование/дешифрование потока голосовых данных требует времени и вносит зачастую большие задержки в процесс передачи и приема трафика (задержка в 200–250 мс может существенно снизить качество переговоров).

Корпоративную или частную сеть обычно защищают межсетевые экраны (МСЭ), которые могут быть использованы и для *VoIP*-инфраструктуры. Необходимо выработать ряд правил для МСЭ, учитывающих топологию сети, местоположение установленных компонентов IP-телефонии и т. д.

Различные IP-телефоны поддерживают механизмы аутентификации, позволяющие использовать телефон только после предъявления и проверки пароля или персонального номера PIN, разрешающего пользователю доступ к IP-телефону. Однако такое решение не всегда удобно для конечного пользователя, особенно при условии ежедневного использования IP-телефона.

Не рекомендуется использовать для *VoIP* IP-адреса, доступные из Интернета, это существенно снижает общий уровень безопасности инфраструктуры. Рекомендуется использовать средства обнаружения атак (*intrusion detection system*), которые не только своевременно обнаружат нападения, но и заблокируют их, не позволяя нанести вред ресурсам сети.

Подводя итоги, отметим основные способы достижения безопасной работы:

– закрытый доступ к конфигурационным файлам;

– изменение настроек сервера по умолчанию, ограничение количества одновременных звонков;

– отключение внешнего IP-адреса сервера, если нет внешних звонков или организация VPN;

– использование альтернативного SIP-порта;

– ограничение прав пользователей до минимума;

– шифрование паролей.

По мере своего развития IP-телефония претерпевает важные качественные изменения: из дополнительной услуги она постепенно превращается в некий базовый сервис, который в скором времени станет одним из компонентов мультисервисной технологии. В стратегическом плане IP-телефония является единой технической платформой, которая позволит объединить решения для передачи данных и голоса, а также для обработки и последующего использования этой информации во всех бизнес-процессах. Средства связи на базе IP-технологий позволяют эффективно решить многие коммуникационные задачи. Внедрение IP-инфраструктуры, обеспечивающей одновременную безопасную передачу данных, речи и видео, действительно повышает эффективность бизнес-процессов и снижает совокупную стоимость связи. Самая главная тенденция развития корпоративной телефонии на текущий момент – это унификация, стремление объединить множество сервисов в одном устройстве. При этом с точки зрения интеграции с корпоративными приложениями альтернативы IP-телефонии нет.

Список литературы

1. Г*ольдштейн, Б. С.* IP-телефония / Б. С. Гольдштейн, А. В. Пинчук, А. Л. Суховицкий. – М. : Радио и связь, 2006. – 336 с. : ил.

2. *Гольдштейн, Б. С.* Протокол SIP / Б. С. Гольдштейн, А. В. Пинчук, А. Л. Суховицкий. – СПб. : БХВ – Санкт-Петербург, 2005. – 456 с.

3. *Гольдштейн, Б. С.* Call-центры и компьютерная телефония / Б. С. Гольдштейн, В. А. Фрейнкман. – СПб. : БХВ – Санкт-Петербург, 2006. – 368 с.

4. *Меггелен, Джим Ван*. Будущее телефонии / Джим Ван Меггелен, Лиф Мадсен, Джаред Смит // Asterisk: The Future of Telephony Символ-Плюс. – 2009.

5. *Росляков, А. В*. IP-телефония / А. В. Росляков, М. Ю. Самсонов, И. В. Шибаева. – М. : Эко-Трендз, 2003. – 252 с.

6. *Платов, М.* Asterisk и Linux – миссия IP-телефония // Системный Администратор. – 2005. – № 31. – С. 12–19.

7. *Веселов, А*. Безопасность IP-телефонии – полевые зарисовки // CITForum. – URL: citforum.ru/security/articles/ipsec/ (дата обращения: 01.10.2014).

УДК 621.39.052

А. Л. Шишкин
E-mail: alexey-shishkin@yandex.ru
ООО «Вторая лаборатория»

Метод модуляции сигналов для систем передачи данных по электросетям

Надежность и скорость передачи данных на физическом уровне во многом зависит от выбора способа модуляции. Существующие решения для передачи данных по электросетям в низкочастотном диапазоне являются малоэффективными, т. к. не используют полностью ресурсы имеющегося канала связи и имеют малые скорости передачи сообщений. К тому же некоторые из них имеют недостаточную помехоустойчивость. Чаще всего это происходит из-за использования неоптимального для электросетей метода модуляции.

Задача увеличения скорости передачи данных по каналу с ограниченной полосой может быть решена несколькими способами:

1) уменьшением длительности элементарной сигнальной посылки;
2) увеличением кратности модуляции или объема канального алфавита;
3) увеличением числа варьируемых параметров сигнала;
4) использование *OFDM*-сигналов (англ. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – ортогональное частотное уплотнение).

Использование метода параллельной передачи ортогональных сигналов в сочетании с многоуровневыми видами модуляции является наиболее оптимальным для *PLC*-систем (англ. *Power Line Communication* – технологии, использующие в качестве среды передачи данных электросеть). Это обусловлено тем, что *OFDM*-сигналам присущи свойства, которые позволяют эффективно решать проблемы, возникающие при передаче данных по электросетям. К таким проблемам можно отнести межсимвольными искажениями, импульсные и узкополосные помехи, изменение частотных характеристик электросети во времени и др. [6]. К тому же *OFDM*-сигналы имеют относительно простую реализацию при использовании сигнальных процессоров. Расчет параметров *OFDM*-сигналов будем производить согласно алгоритму, предложенному в [1].

Исходными данными для расчета параметров *OFDM*-сигнала являются:

1. Полоса частот и параметры канала связи.
2. Требуемая техническая скорость передачи данных.

© Шишкин А. Л., 2015

Для передачи данных по электросети было решено использовать две полосы частот шириной по 50 кГц каждая: 40–90 кГц и 95–145 кГц [5]. Частоты ниже 40 кГц не рекомендовано использовать [4], т. к. это связано с определенными трудностями:

1. В данном диапазоне частот электросети имеют низкий импеданс (менее 1 Ом).
2. Уровень фоновых шумов возрастает на низких частотах по экспоненциальному закону.
3. Бытовая техника при работе создает помехи в электросети, как правило, в области низких частот и непредсказуемо меняет частотные характеристики электросетей во времени также только на низких частотах.

Формирование дискретного полосового сигнала с шириной спектра 50 кГц будем производить на частоте дискретизации 100 кГц с последующими операциями интерполяции и переноса спектра сигнала в требуемый диапазон частот [2].

Длительность информационной посылки T складывается из длительности *OFDM*-кадра T_{OFDM} и длительности циклического префикса $T_{\text{ЦП}}$:

$$T = T_{OFDM} + T_{\text{ЦП}} .$$

Длительность OFDM кадра T_{OFDM} определяется исходя из параметров импульсных шумов, присутствующих в канале связи. В [3] показано, что импульсные помехи могут быть подавлены практически полностью при следующих условиях:

$$T_{\text{ИМП}} << T_{OFDM} << \frac{1}{\lambda},$$

где $T_{\text{ИМП}}$ – длительность импульсной помехи, T_{OFDM} – длительность одного сигнального элемента (кадра), λ – интенсивность импульсных помех.

Согласно наблюдениям, приведенным в [4], импульсные помехи наиболее часто имеют период повторения, равный периоду колебаний основного напряжения в электросети (20 мс), а их длительность не превышает 500 мкс. Поэтому примем, что длительность *OFDM*-кадра T_{OFDM} должна быть равна 5 мс.

Циклический префикс вводится для устранения межсимвольной интерференции. Поэтому необходимо, чтобы длительность $T_{\text{ЦП}}$ превосходила длительность импульсной характеристики канала связи $T_{\text{ИХ}}$, т. к. $T_{\text{ИХ}}$ приблизительно равна 50 мкс (рис. 1), то пусть длительность циклического префикса $T_{\text{ЦП}}$ будет 100 мкс.

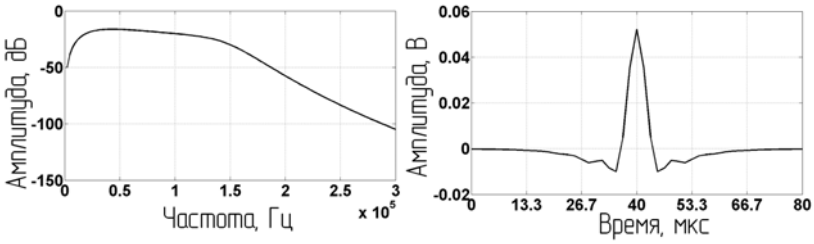


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика приемопередатчика и электросети при передаче сигнала с 1-го на 3-й этаж жилых домов и соответствующая ей импульсная характеристика

Количество точек в *OFDM*-кадре равно (при подготовке *OFDM*-кадра на частоте дискретизации 100 кГц):

$$N = T_{OFDM} \cdot f_S = 0.005 \cdot 100000 = 500 .$$

После округления N до ближайшей степени 2 получаем, что N равно 512 (2^9). Тогда длительность *OFDM*-кадра будет равна:

$$T_{OFDM} = N / f_S = 512 / 100000 = 5{,}12 \text{ мс} .$$

Количество поднесущих частот M равно

$$M = \frac{N}{2} - 1 = \frac{512}{2} - 1 = 255 .$$

Расстояние между поднесущими частотами определяется выражением:

$$\Delta f = \frac{f_S}{N-1} = \frac{100000}{511} \approx 195{,}7 \text{ Гц.}$$

Минимальное расстояние между пилот-поднесущими $\Delta f_{\text{пил}}$ определяется неравенством:

$$\Delta f_{\text{пил}} < \frac{1}{T_{\text{их}}} = \frac{1}{50 \cdot 10^{-6}} = 20000 \text{ Гц.}$$

Для более точной оценки параметров канала связи изначально полагаем, что $\Delta f_{\text{пил}}$ = 4696,8 Гц (пилот-сигналы передаются на каждой 24-й поднесущей частоте). Коэффициент уменьшения скорости передачи, обусловленный введением пилот-сигналов, равен

$$k_{\text{пил}} = \frac{\Delta f_{\text{пил}} - \Delta f}{\Delta f_{\text{пил}}} = \frac{4696{,}8 - 195{,}7}{4696{,}8} = 0{,}958 .$$

Введем также защитные интервалы $F_{ЗАЩ}$ по 5 кГц сверху и снизу, необходимые при реализации операции переноса спектра сигнала и при полосовой фильтрации. Тогда для передачи полезной информации будут использоваться только центральные 40 кГц. Коэффициент уменьшения скорости передачи, обусловленный введением данных защитных частотных интервалов:

$$k_{ЗАЩ} = \frac{W - 2 \cdot F_{ЗАЩ}}{W} = \frac{50 - 10}{50} = 0,8 .$$

Общий коэффициент уменьшения скорости передачи:

$$k = k_{ПИЛ} \cdot k_{ЗАЩ} = 0,958 \cdot 0,8 = 0,767 .$$

Скорость передачи данных R в каждой полосе частот равна

$$R = \frac{k \cdot M}{T_{OFDM} + T_{ЦП}} = \frac{0,767 \cdot 255}{0,00512 + 0,0001} = 37468 \frac{\text{симв.}}{\text{сек.}} .$$

Из рассчитанного значения скорости передачи данных R следует, что использование ортогональных канальных сигналов в сочетании с многоуровневыми методами модуляции позволят решить задачу обеспечения высокой пропускной способности системы связи по электросетям (рис. 2).

Рис. 2. Распределение поднесущих-частот в *OFDM*-сигнале.

Список литературы

1. Аппаратура передачи дискретной информации МС-5 / под ред. А. М. Заездного и Ю. Б. Окунева. – М. : Связь, 1970.
2. *Скляр, Б.* Цифровая связь. – 2-е изд. / пер. с англ. ; под ред. А. В. Назаренко. – М. : Вильямс, 2003. – 1104 с.

3. *Финк, Л. М.* Теория передачи дискретных сообщений. – 2-е изд. –М. : Сов. радио, 1970. – 728 с.
4. *Климов, И. З.* Оценка пропускной способности электросети в диапазоне частот 9…148,5 кГц / И. З. Климов, А. Л. Шишкин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 2. – С. 279–286.
5. ГОСТ Р 51317.3.8–99 (МЭК 61000-3-8–97) Совместимость технических средств электромагнитная. Передача сигналов по низковольтным электрическим сетям. Уровни сигналов, полосы частот и нормы электромагнитных помех. – М. : Изд-во стандартов, 2000.
6. *Прокис, Дж.* Цифровая связь. – М. : Радио и связь, 2000. – 800 с.

УДК 51.74

Г. Н. Шлыков, ст. преподаватель
E-mail: hnsh@rambler.ru
Удмуртский государственный университет, г. Ижевск

Применение гравитационной модели в описании телекоммуникационной системы

При моделировании и изучении сложных систем известную трудность представляет учет максимального количества параметров, влияющих на состояние системы, и их зависимости. В этой связи хорошо зарекомендовала себя энтропийная модель и связанная с ней гравитационная, в частности [1, 2], при рассмотрении проблем распределения транспортных потоков в городских системах, товарных запасов по складам, перераспределения спроса и других задачах. В последнее время алгоритмы решения подобных задач с использованием указанных моделей находят применение и в информационной безопасности [3–5]: в оценке эффективности применения средств защиты информации (СЗИ), их оптимального распределения по зонам защищаемого объекта. Однако предлагаемые алгоритмы отражают реализацию СЗИ в целом, не привязаны к конкретным технологиям и предоставляемым ими возможностям. Рассмотрим, как можно описать состояния телекоммуникационной системы (ТКС) с позиций информационной безопасности, используя указанные выше модели.

Пусть задана ТКС с фиксированным соответственно имеющейся топологии пространственным распределением множества узлов-абонентов (УА) и множества узлов-ресурсов (УР), к которым организован доступ. Каждый УА может быть как простым (например, рабочее место с одним

© Шлыков Г. Н., 2015

пользователем), так и составным (например, сегмент сети, рабочее место с несколькими пользователями и т. п.). Также, каждый УР может быть простым (сервер БД, почтовый сервер, принт-сервер и т. д.) или составным (например, сервер с несколькими службами, сервер с несколькими БД и т. п.). Между УА и УР образуется некоторый трафик в виде запросов-ответов, работ в терминальном режиме на удаленном УР, обращений к БД, файлам, приложениям и т. п.

Для описания состояния ТКС необходимо соотнести каждого пользователя, имеющего свое месторасположение в ТКС на конкретном УА, с необходимыми ему ресурсами на УР в момент времени t и в соответствии с правилами разграничения доступа (ПРД). Такое описание на уровне ТКС в целом будем называть описанием ТКС на макроуровне. В случае большого количества пользователей и требуемых им ресурсов имеем систему очень большой размерности, и задача становится слишком трудной, т. к. дополнительно нужно учитывать поведение пользователя, т. е. с какого УА и к какому УР в данный момент времени организован доступ и будут ли ресурсы доступны, какова нагрузка на каналы, серверы и пр. Таким образом, задача описания ТКС на макроуровне, т. е. на уровне ТКС в целом, требует полного анализа на уровне каждого пользователя и каждого ресурса, т. е. на микроуровне, что делает ее трудноразрешимой.

Для решения данной задачи воспользуемся методами статистической физики, объясняющими и предсказывающими определенные на макроуровне свойства системы без изучения поведения каждого отдельного элемента системы на микроуровне. Например, подобный подход используется для исследования газообразных систем с большим числом частиц газа.

Построим таблицу-матрицу, в которой строки i – пронумерованные УА ($i = 1, \ldots, n$), а столбцы j – пронумерованные УР ($j = 1, \ldots, m$). Каждый пользователь и каждый ресурс в системе имеет свой идентификатор (ID), а каждый УА и УА имеет свой IP-адрес (условно говоря, IP-метка). В случае если на УА или УР располагаются более одного пользователя или более одного ресурса, то IP-метка является множеством ID-пользователей или ресурсов. Тогда под состоянием ТКС понимается размещение IP-меток по ячейкам таблицы-матрицы. Следует оговориться: размерность IP-меток должна соответствовать размерности того параметра, которым описывается состояние ТКС. Например, если интерес вызывает нагрузка на сеть, то значения IP-меток должны соответствовать единицам измерений нагрузки.

Таким образом, под состоянием ТКС можно понимать размещение IP-меток по ячейкам (элементам) таблицы-матрицы между узлами i и j, т. е. общее количество T_{ij} перемещающихся IP-меток. Тогда матрица

$T = \{T_{ij}, i = 1, \ldots, n; j = 1, \ldots, m\}$ описывает распределение параметра в ТКС и характеризует свойства ТКС на макроуровне в каждый момент времени без учета структурного состава T_{ij}.

В полученной матрице T каждый элемент может интерпретироваться с двух позиций:

1) как состоящий из множества пользователей, обращающихся из i-го УА к j-му УР в момент времени t;

2) как состоящий из общего числа T_{ij} IP-меток пользователей от i-го УА к j-му УР в размерностях описываемых параметров.

Следует отметить, что матрица T может оказаться сильно разреженной, т. к. в некоторые моменты времени t каждый i-й УА может обращаться только к небольшому числу j-х УР. Кроме того, не всякий УА имеет доступ к любому УР. Разреженность матрицы T может потребовать нетривиальных алгоритмов ее обработки.

При данной интерпретации ясно, что может существовать множество микросостояний, описывающих одно и то же распределение, т. е. может быть много разных IP-меток пользователей, а T_{ij} будет одно и то же. Это означает, что множество состояний на микроуровне может приводить к одному и тому же состоянию на макроуровне. Следовательно, если предположить равновероятность появления каждого состояния, то можно найти наиболее вероятное распределение, вычислив множество значений T_{ij}, с которыми связано наибольшее число состояний. В этом случае, информация о поведении каждого отдельного пользователя не является необходимой.

Переход при описании состояний ТКС от микроуровня к макроуровню имеет ряд ограничений. Например, сведенные в один УР ресурсы могут иметь разную структуру и параметры, физическое и территориальное расположение и пр. Подобные ограничения будем называть затратами. Тогда в общем виде ТКС можно представить в виде трехуровневой структуры, в которой нижний уровень – уровень микросостояний, средний уровень – уровень макросостояний, полученный из нижнего путем вычисления наиболее вероятного распределения при существующем верхнем уровне – уровне затрат.

Формализуем модель. Для этого введем переменные: T_{ij} – количество IP-меток пользователей, обращающихся из i-го УА к j-му УР в момент времени t (или, например, объем трафика из i-го УА в j-й УР в момент времени t, если ТКС описывается этим параметром); Q_i – полное число зарегистрированных на i-м УА пользователей, имеющих IP-метки (или максимальный исходящий объем трафика из i-го УА); D_j – полное число доступных в ТКС ресурсов в j-м УР (или максимально возможный входящий объем трафика, причем $Q_i \neq D_j$); c_{ij} – затраты на доступ из i-го УА

к j-му УР (или пропускная способность соответствующего ij-го сегмента ТКС); C – полные затраты на доступ или работу в ТКС (нагрузка). Тогда ограничения на T_{ij} при определении соответствующего распределения можно записать как:

$$\sum_j T_{ij} = Q_i\,,\ \sum_i T_{ij} = D_j\,, \tag{1}$$

$$\sum_i \sum_j T_{ij} c_{ij} = C\,. \tag{2}$$

Задача сводится к нахождению матрицы $T = \{T_{ij}\}$, с которой связано наибольшее число состояний $W(\{T_{ij}\})$ при ограничениях (1), (2). Определим количество состояний, соответствующих матрице $\{T_{ij}\}$.

Пусть T – полное количество IP-меток пользователей в ТКС в момент времени t: $T = \sum_i \sum_j T_{ij}$. Выберем из T сначала T_{11}, затем из оставшегося числа (T- T_{11}) выберем T_{12} и т. д. Тогда число возможных состояний есть $C_T^{T_{11}}$ – число способов выбора T_{11} элементов из Т, умноженное на $C_{T-T_{11}}^{T_{12}}$ – число способов выбора T_{12} элементов из (T–T_{11}) и т. д. Тогда

$$W(\{T_{ij}\}) = C_T^{T_{11}} \cdot C_{T-T_{11}}^{T_{12}} \cdot C_{T-T_{11}-T_{12}}^{T_{13}} \cdot \ldots, \tag{3}$$

или

$$W(\{T_{ij}\}) = \frac{T!}{T_{11}!\,(T-T_{11})!}\,\frac{(T-T_{11})!}{T_{12}!\,(T-T_{11}-T_{12})!}\ldots = \frac{T!}{\prod_{ij} T_{ij}!}. \tag{4}$$

Таким образом, чтобы найти наиболее вероятное распределение – матрицу $T = \{T_{ij}\}$, необходимо максимизировать $W(\{T_{ij}\})$ при ограничениях (1), (2). Перейдя к $\ln W(\{T_{ij}\})$, получаем

$$T_{ij} = A_i B_j Q_i D_j \exp(-\beta c_{ij}), \tag{5}$$

где

$$A_i = \frac{\exp(-\lambda_i^{(1)})}{Q_i} = \left[\sum_j B_j D_j \exp(-\beta c_{ij})\right]^{-1}, \tag{6}$$

$$B_j = \frac{\exp(-\lambda_j^{(2)})}{D_j} = \left[\sum_i A_i Q_i \exp(-\beta c_{ij})\right]^{-1}, \tag{7}$$

где β – множитель Лагранжа, связанный с (2); $\lambda_i^{(1)}$ и $\lambda_j^{(2)}$ – наборы множителей Лагранжа, связанные с ограничениями (1). Применяя формулу Стирлинга при больших T_{ij}, получаем:

$$\ln T_{ij}! = T_{ij}\ln T_{ij} - T_{ij}. \tag{8}$$

$\ln W(\{T_{ij}\})$ является энтропией системы, и наиболее вероятное распределение будет соответствовать наибольшей неопределенности о микросостоянии системы. Наиболее простая модель, с помощью которой можно оценить T_{ij} – так называемая гравитационная модель, которая разработана по аналогии с законом всемирного тяготения и имеет вид

$$T_{ij} = k\frac{Q_i D_j}{c_{ij}^2}, \tag{9}$$

где Q_i, D_j, c_{ij} – указанные выше ограничения и затраты, k – нормировочный коэффициент, корректирующий размерности IP-меток. Для соответствия ограничениям (1) введем константы A_i и B_j, связанные соответственно с УА и УР. Тогда модифицированная гравитационная модель будет иметь следующий вид:

$$T_{ij} = A_i B_j Q_i D_j f(c_{ij}), \tag{10}$$

где

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j f(c_{ij})\right]^{-1}, \tag{11}$$

$$B_j = \left[\sum_i A_i Q_i f(c_{ij})\right]^{-1}. \tag{12}$$

Таким образом, имеем однозначную связь энтропии и гравитационной модели, что позволяет описывать ТКС с большей гибкостью. Дальнейший интерес представляет рассмотрение модели при одновременном наличии на одном УА и УР нескольких типов пользователей и ресурсов, соответственно имеющимся в ТКС уровням конфиденциальности ресурсов и ПРД.

Список литературы

1. *Вильсон, А. Дж.* Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М. : Наука, 1978. – 248 с.
2. Введение в моделирование транспортных потоков : учеб. пособие / А. В. Гасников [и др.] ; под ред. А. В. Гасникова. – М. : МФТИ, 2010. – 362 с.
3. *Малюк, А. А.* Информационная безопасность: концептуальные и методологические основы защиты информации : учеб. пособие для вузов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2004. – 280 с.
4. *Малюк, А. А.* Энтропийный подход к моделированию систем и процессов защиты информации // ФГУП ВНИИПВТИ. – URL: http://pvti.ru/ data/file/ bit/ bit_4_2011_2.pdf (дата обращения: 26.07.2014).
5. *Малюк, А. А.* Оптимизация распределения средств защиты информации на объекте // ФГУП ВНИИПВТИ. – URL: http://pvti.ru/data/file/ bit/2013/ 2013_3/part_4.pdf (дата обращения: 10.10.2014).

Секция 5. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

УДК 681.2.08

В. А. Александров [1], канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотр.
Д. Г. Калюжный [2], канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
В. В. Бесогонов [3], канд. техн. наук, доцент
E-mail: ava@udman.ru
[1, 2, 3] Институт механики УрО РАН, г. Ижевск
[3] ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ТермоЭДС в серебро-палладиевых толстопленочных резисторах при облучении импульсами лазера

Толстопленочные серебро-палладиевые (Ag–Pd) резисторы изготавливаются методом шелкографии резистивных паст на керамической подложке с последующим вжиганием при температуре более 600 °С. Функциональный материал этих резисторов состоит в основном из частиц сплава Ag−Pd и оксида палладия PdO. Резистивные свойства Ag–Pd резисторов определяются оксидом палладия PdO, который является полупроводником р-типа. Очевидно, в процессе термической обработки материала резистивной пасты, содержащей Ag_2O и Pd, вместе с образованием частиц сплава Ag−Pd и PdO между этими частицами создаются и переходные слои металл-полупроводник р-типа, обладающие свойством барьера Шоттки.

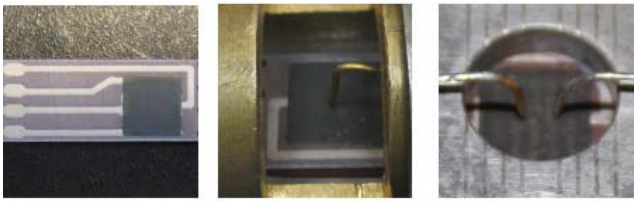
Наличие PdO на поверхности Ag–Pd резисторов подтверждается восстановлением Pd водородом при контакте газообразного водорода нагретой поверхностью резисторов в интервале температур от 50 до 120 °С либо при электролитическом наводораживании резисторов при комнатной температуре. При взаимодействии с водородом сопротивление Ag–Pd резисторов снижается, а поверхность приобретает металлическую проводимость. ТермоЭДС на поверхности резисторов, регистрируемая методом термозонда, указывает на полупроводниковые свойства их поверхности [1, 2]. При подведении нагретого медного электрода к поверхности резисторов между этим электродом и любым электродом резистора, а также между двумя электродами, имеющими разные температуры и подведенными к поверхности резисторов, возникает разность

© Александров В. А., Калюжный Д. Г., Бесогонов В. В., 2015

потенциалов – термоЭДС. При этом на более холодном электроде термо-ЭДС имеет положительный заряд, что указывает на дырочную проводимость материала резистора.

В данной работе мы исследовали термоЭДС, возникающую на поверхности толстопленочных Ag–Pd резисторов под воздействием импульсного лазерного излучения.

Для экспериментов использовались толстопленочные резисторы на основе серебра и палладия без защитного слоя, изготовленные из пасты ПР-100, предназначенной для изготовления резисторов с удельным поверхностным сопротивлением 100 Ом/□ [3]. В состав пасты входят порошки в следующем соотношении: Ag_2O – 19,7 в.ч., Pd – 25,3 в.ч., стекло С-660а – 55 в.ч. Резисторы размером 6×6 мм и толщиной 18–20 мкм с сопротивлением 60 Ом были получены на подложке из керамики ВК-94, на которой предварительно были сформированы толстопленочные электроды из проводниковой пасты ПП-3: Ag – 72 в.ч., Pd – 20 в.ч., BiO – 3 в.ч., стекло С-660а – 5 в.ч. (рис. 1, *а*). Электроды служат для измерения сопротивления резисторов и электрического сигнала, индуцированного лазерным излучением. Резисторы устанавливались в металлические оправы для экранирования от импульсных электромагнитных помех. В оправах выполнено окно для подведения одного (рис. 1, *б*) или двух (рис. 1, *в*) металлических зондовых электродов к поверхности резисторов и подачи лазерного излучения.



а *б* *в*

Рис. 1. Толстопленочный резистор (*а*), резистор в оправе с одним зондовым электродом (*б*) и резистор в оправе с двумя электродами, подведенными к его поверхности (*в*)

В качестве источника импульсного лазерного изучения использовалась установка типа 8010 Trotec Speedy 100R C12 с CO_2 – лазером на длине волны 10,6 мкм. Схема экспериментов приведена на рис. 2. Оправа вместе с резистором и подведенными к его поверхности зондовыми электродами устанавливались на двухкоординатный столик, который, в свою очередь, располагался на подвижном столе лазерной установки

Speedy 100R. Расстояние от фокусирующей линзы лазера до поверхности резистора равнялось 70 мм, при этом диаметр пучка лазерного излучения, нормально падающего на поверхность резистора, составлял ~1 мм. Электрические сигналы, индуцированные импульсами лазера в резисторе, после усиления регистрировались осциллографом. При этом фиксировались максимальные значения ЭДС, возникающие между электродами, подведенными как к поверхности резистора, так и между подведенным к поверхности резистора электродом и толстопленочным электродом на краю резистора. После каждого измерения точка воздействия импульсов лазера на поверхности резистора перемещалась на расстояние с шагом 0,2 мм с помощью винтов двухкоординатного столика.

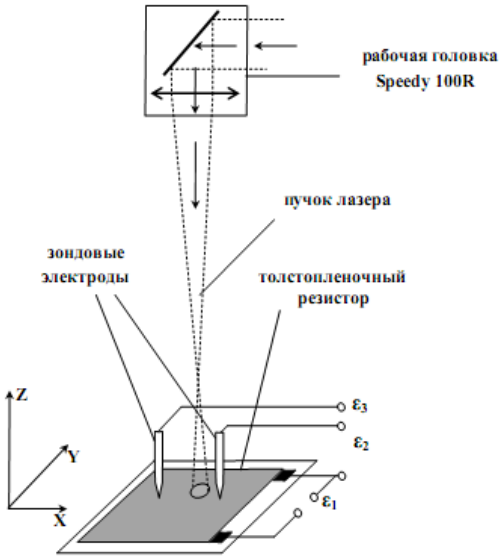
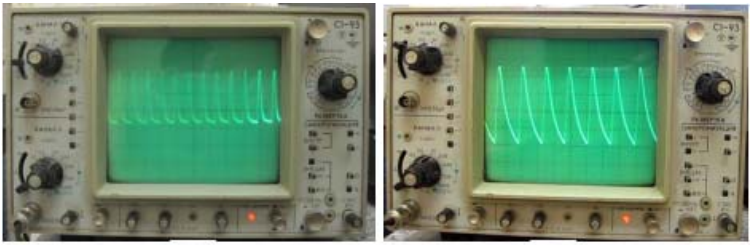


Рис. 2. Схема экспериментов

На рис. 3 представлены типичные осциллограммы сигналов ЭДС, полученных от зондовых электродов, подведенных к поверхности Ag–Pd резисторов при облучении их поверхности импульсами лазера частотой 1 кГц и от толстопленочных электродов на краях резистора при облучении импульсами лазера с частотой 700 Гц. Импульсы сигналов являются однополярными, имеют крутой фронт и пологий спад. Поскольку лазер генерирует излучение в виде пакета импульсов с заданной частотой, то, очевидно, длительность фронта отдельных электрических

импульсов равна длительности одного пакета лазерного излучения. На частоте 1 кГц, как видно из осциллограммы, длительность фронта импульсов составляет ~0,1 мс, на частоте 700 Гц – ~0,2 мс.



а *б*

Рис. 3. Осциллограммы ЭДС на поверхности Ag–Pd резисторов при облучении импульсами CO_2-лазера частотой 1 кГц (*а*) и 700 Гц (*б*)

Эксперименты показали, что ЭДС на поверхности резисторов имеет постоянную и переменную составляющие, после включения лазера величина постоянной ЭДС и амплитуда импульсной ЭДС со временем возрастают. Это указывает на термоэлектрическую природу проявления ЭДС в Ag–Pd резисторах при локальном облучении их поверхности высокочастотными импульсами CO_2-лазера.

На рис 4. представлены кривые зависимости постоянной и переменной составляющих ЭДС на зондовых электродах от участка воздействия лазерного пучка на поверхность резисторов. Величина постоянной ЭДС между электродами зависит от точки воздействия импульсов лазера на поверхность резистора. Знак ЭДС изменяется в положении точки воздействия между электродами. Из кривой на рис. 1, *а* можно заметить, что заряд на электроде, который взаимодействует с участком поверхности резистора, находящимся на большем расстоянии от точки воздействия импульсов лазера, оказывается положительным относительно второго электрода. Это объясняется проводимостью р-типа поверхности резисторов. Величина постоянной ЭДС при облучении поверхности резисторов в течение 10 сек достигает нескольких десятков милливольт, амплитуда импульсов переменной составляющей – сотен микровольт. При этом постоянная ЭДС превышает по величине переменную ЭДС ~ в 100 раз.

На рис. 5 показаны зависимости ЭДС от координаты точек воздействия импульсов лазера на поверхность резисторов, когда эти точки находятся на прямой, проходящей через точку контактирования зондовых электродов с резистором. Из рис. 5, *а* и *б* видна зависимость знака ЭДС

от взаимного расположения зондовых электродов и точки воздействия лазерного излучения на поверхность резисторов.

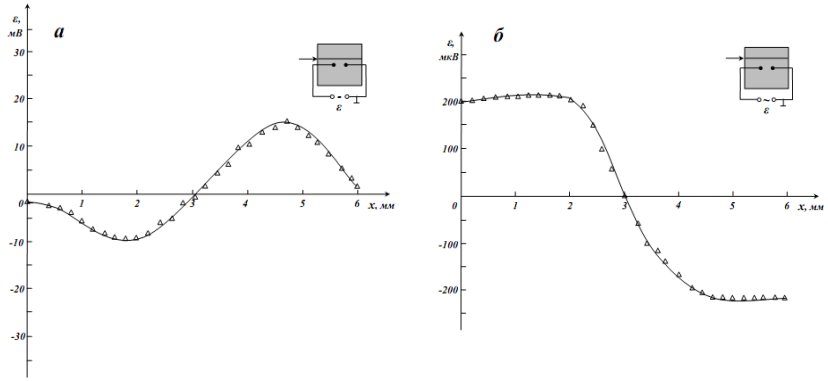


Рис. 4. Зависимости величины постоянной (*а*) и импульсной (*б*) термо-ЭДС от координаты точки воздействия лазерного луча на поверхность Ag–Pd резистора при измерении двумя зондовыми электродами

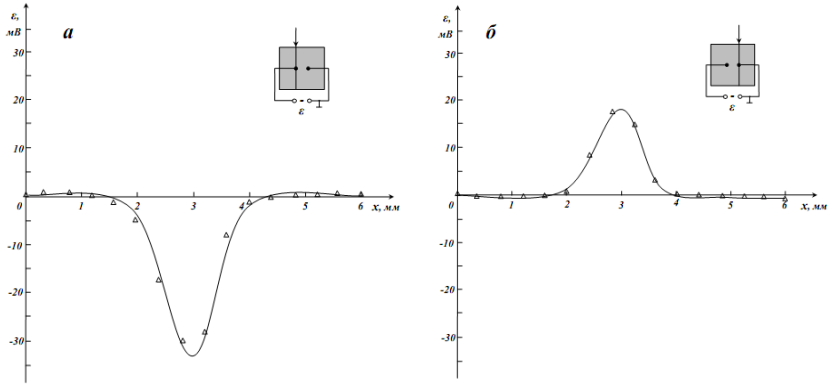


Рис. 5. Зависимости постоянной термо-ЭДС про сканировании лазерным лучом поверхности Ag–Pd резистора по прямым, проходящим по точкам контактирования зондовых электродов с резистором: *а* – электрод подключен к положительному входу усилителя; *б* – электрод подключен к отрицательному входу усилителя

Исследования зависимости переменной составляющей ЭДС (амплитуды импульсного сигнала на зондовых электродах) от координаты точек воздействия импульсов лазера на поверхность Ag–Pd резистора показали, что максимальное значение амплитуды импульсной ЭДС отри-

цательного знака возникает при воздействии на точку контакта поверхности резистора и электрода, подключенного к отрицательному входу усилителя.

Измерения поверхностной ЭДС в Ag–Pd резисторах при облучении импульсами CO_2-лазера, сигналы которой регистрировались с одного зондового электрода и толстопленочных электродов, показали, что закономерности изменения характера постоянной составляющей ЭДС от расположения точки воздействия луча лазера практически одинаковы. Амплитуда импульсов и полярность знака переменной составляющей значительно зависит от координаты точки воздействия лазерного излучения. Для выявления механизма возникновения импульсной ЭДС, несущей информацию о частоте и длительности импульсов лазера, необходимы дальнейшие исследования.

Таким образом, воздействие импульсного лазерного излучения на поверхность толстопленочных серебро-палладиевых резисторов приводит к возникновению термоЭДС, которая обнаруживается несложными средствами измерения. Зависимость величины и полярности термоЭДС между электродами на поверхности резисторов от координаты точки воздействия лазерного излучения указывает на полупроводниковые свойства поверхности резисторов с дырочной проводимостью. Возникновение ЭДС на поверхности резисторов при воздействии нормально падающим лазерным излучением может объясняться увлечением носителей заряда тепловыми фононами в результате локального нагревания и возникновения градиента температуры на поверхности резисторов. Проведенные исследования указывают на возможность использования серебро-палладиевых толстопленочных резисторов в качестве датчиков для контроля параметров мощного импульсного лазерного излучения.

Список литературы

1. *Александров, В. А.* Поверхностная термоЭДС в серебро-палладиевых толстопленочных резисторах / В. А. Александров // Вестн. Удм. ун-та. Физика и химия. – 2012. – № 4. – С. 18–21.

2. *Александров, В. А.* Влияние водорода на проводимость Ag–Pd толстопленочных резисторов / В. А. Александров, Д. Г. Калюжный, Е. В. Александрович // Письма в ЖТФ. – 2013. – Т. 39. – В. 1. – С. 88–94.

3. *Александров, В. А.* Вихревой поверхностный ток в толстопленочном резисторе при воздействии лазером / В. А. Александров, Д. Г. Калюжный, Р. Г. Зонов // Письма в ЖТФ. – 2010. – Т. 36. – В. 14. – С. 55–59.

УДК 621.9.01

В. А. Алексеев, д-р техн. наук, профессор
В. П. Усольцев, канд. техн. наук, вед. инженер-электроник
E-mail: vpusoltcev@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Автоматическая резка корпусов боеприпасов с отделением медных поясков

В настоящее время на базах, складах и арсеналах Министерства обороны Российской Федерации содержится большое количество боеприпасов, запрещенных к практическому использованию, из них в Удмуртии, в частности, в Кизнере и Камбарке, размещено более 30 % химического оружия. Его дальнейшее хранение приводит к изменению свойств составляющих боеприпасы компонентов, требует значительных затрат для хранения и создает потенциальную экологическую опасность.

Практикуемое уничтожение боеприпасов механическим или химическим способами на полигонах Минобороны России, является опасной, экологически вредной и экономически убыточной процедурой. При этом следует отметить, что боеприпасы содержат полезные элементы, в том числе ценное металлургическое сырье [1].

За рубежом проблемами утилизации боеприпасов занимаются уже длительное время. Вооруженные силы и предприятия оборонного комплекса США приступили к работам в области утилизации вооружения и боеприпасов сразу после окончания Второй мировой войны. Уже в 40–50-х годах были созданы региональные центры для утилизации всех видов боеприпасов.

Простое уничтожение невостребованных боеприпасов (подрыв на открытых площадках, затопление) приводит к большому ущербу, нарушению экологического равновесия окружающей среды, поэтому оно нецелесообразно, а в больших количествах – не допустимо.

Известны следующие основные способы утилизации артиллерийских боеприпасов:

1. Уничтожение путем подрыва на открытых площадках.
2. Иммобилизации в донных отложениях океана (затопление).
3. Отстрела из штатных систем оружия.
4. Сжигание в специализированных печах.
5. Резка и разделка на составляющие компоненты.

Первые четыре способа являются невыгодными с экономической, экологической и политической точек зрения. Они приводят к потере компонентов боеприпасов и, как следствие, ценных вторичных ресур-

сов, в частности медных и медно-никелевых сплавов. Рациональным подходом при решении проблемы является развернутое использование пятого из указанных методов, предполагающего комплексное получение черных, цветных и драгоценных металлов, и других сырьевых и химических материалов.

Для организации эффективной промышленной утилизации указанных боеприпасов необходимо совершенствование методов, технологии и создание специального оборудования для автоматической резки корпусов боеприпасов с отделением медных поясков [2].

Проведение указанных работ соответствует «Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации», Утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 «2. Индустрия наносистем. 6. Рациональное природопользование» и «Перечню критических технологий Российской Федерации», Утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 «19. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации её загрязнения».

Актуальность проблемы методической разработки, отработки и внедрения технологии лазерной резки, разборки, чистки, сортировки и идентификации корпусов боеприпасов обусловлена следующими объективными причинами:

– истечением гарантийного срока хранения боеприпасов, за пределами которого оно утрачивает свои качественные характеристики, становятся опасными в использовании, обращении и хранении;

– международные соглашения обязывают выполнить уничтожение запасов вооружений.

Для определения направлений опытно-конструкторских работ проведен анализ литературных источников, первоначальный патентный поиск по следующим рубрикам (8-я редакция МПК) B23K, C03B33/00, B23K26/38, по данному направлению за последние 10 лет, наиболее соответствующие из которых [3–6]. На основании изучения и заинтересованного анализа мировых тенденции развития методики, технологии и специализированного оборудования для автоматической резки корпусов боеприпасов с отделением медных поясков, в соответствии с которыми будут приобретаться комплектующие (установки, приборы, материалы), разрабатываться эскизная документация, изготавливаться опытные образцы необходимого оборудования, разрабатываться и отлаживаться основные технологические операции по резке и снятию медных и медно-никелевых ведущих поясков с корпусов деформированных химических боеприпасов ствольной артиллерии калибров 85, 122, 130,152 мм.

Опробованы основные технологические операции резки ведущих поясков и их снятие на макетах опытных образцов установок, приборов, нестандартных приспособлений и оснастки.

1. Возможности существующих технических решений

1.1. Способы резки металла [7, 8].

1.1.1. Механические способы резки.

1.1.1.1. Резка металла резцом и фрезой.

Недостатком способа являются изнашивание режущего инструмента из-за трения стружки и обрабатываемой детали о поверхности, тепловые и электрические явления при обработке металлов резанием, а также большой объем получаемой стружки и трудности ее утилизации.

1.1.1.2. Рубка металла гильотиной.

Низкая стоимость и очень высокая производительность являются основными преимуществами рубки металла гильотиной. Однако ограничения при изготовлении деталей сложной конфигурации не позволяют применять рубку гильотиной повсеместно. Кроме того максимальная толщина обрабатываемого металла сильно ограничена.

1.1.1.3. Резка дисковой (циркулярной) пилой (углошлифовальной машинкой).

Для резки металлов циркулярной пилой применяются специальные диски: с напайками из твердых сплавов, как правило, для распиловки алюминия и его сплавов; абразивные армированные отрезные круги – для резки более твердых металлов и сплавов, в том числе сталей.

Преимущества резки металла дисковой пилой:

1) высокое качество реза;

2) возможность резки под углом;

3) высокая точность обработки.

Недостатки резки металла дисковой пилой:

1) потеря металла (до 6 мм ширины профиля) за счет линии реза;

2) низкая скорость резки;

3) Ограничение величины пропила – как правило, не более 100 мм.

1.1.1.4. Ленточнопильная резка металла.

Ленточнопильный станок используется для высококачественной резки сортового и трубного металлопроката, арматуры и стальных прутков большого диаметра. Он представляет собой станок, где режущим элементом является ленточная пила, натянутая на шкивах.

Основные преимущества ленточнопильной резки:

1) высочайшее качество кромки реза без зазубрин и заусенцев;

2) возможность резки под углом до 60 градусов;

3) позволяет резать практически любые металлы и сплавы – от алюминия до высокотвердой стали;

4) тонкая ширина реза сокращает потери металла, что особенно важно при использовании дорогих металлов и сплавов;

5) в отличие от резки дисковой пилой, величина пропила достигает 200 мм.

1.1.2 Резка водой

Возможность использования струи жидкости под сверхвысоким давлением в качестве режущего инструмента для обработки различных материалов впервые была описана в СССР. Произошло это в 1957 г. Но запатентован такой способ обработки материалов был только через четыре года, и не в Союзе, а в США.

Инструментом водоструйной (гидроструйной) резки материалов является определенным образом сформированная струя жидкости, исходящая из специального сопла диаметром 0,08–0,5 мм со сверхзвуковой скоростью (1000 и более м/с) и обеспечивающая рабочее давление на заготовку в 400 МПа и более. Поскольку расстояние от среза сопла до поверхности материала составляет несколько миллиметров, давление струи превышает предел прочности материала – за счет этого и осуществляется резка.

Существуют два способа водоструйной резки материалов:

1) резка водой (гидрорезка);

2) гидроабразивная резка (вода плюс абразив).

Наличие абразива в струе увеличивает ее технологические возможности – жидкостно-абразивной суспензией можно резать твердые и труднообрабатываемые материалы значительной толщины.

Режимы водоструйной резки, осуществляемой обоими способами, могут быть расширены за счет подвода к струйной головке хладагента, способствующего образованию в струе льдинок, которые придают ей абразивные свойства.

При водоструйной резке учитывается и угол атаки – угол между направлением струи и обрабатываемой поверхностью. Максимальная режущая способность и производительность процесса достигаются при угле атаки в 90°.

1.1.3 Газовая резка.

Под газопламенной резкой (чаще ее называют кислородной) понимают способ разделения металла по прямому или криволинейному контуру. Метод основан на использовании для нагрева смесь горючих газов с кислородом и экзотермической (с выделением тепла) реакции окисления металла. Суть кислородной резки заключается в сгорании железа в струе чистого кислорода, нагретом до температуры, близкой к плавлению. Для удаления оксидов железа из зоны реза используется кинетическая энергия режущего кислорода. Сам процесс резки включает в себя

стадию подогрева металла ацетиленовым (или другим заменителем) пламенем и непосредственную резку струей режущего кислорода.

По характеру и направленности кислородной струи различают три основных вида резки: разделительная, при которой образуются сквозные резы, поверхностная, при которой снимают поверхностный слой металла, кислородное копье, заключающееся в прожигании в металле глубоких отверстий.

Для обеспечения стабильности процесса и нормальной резки металла необходимо, чтобы в зоне реза выполнялись следующие условия:

1) мощность источника тепла должна быть достаточной для нагрева металла до температуры, при которой происходит реакция сгорания металла;

2) количество тепла, выделяемое при сгорании металла в струе кислорода, должно обеспечивать непрерывность процесса;

3) реакция окисления металла должна происходить при температуре меньшей, чем требуется для плавления;

4) температура плавления металла должна быть выше температуры образовавшихся оксидов; в противном случае пленка тугоплавких оксидов изолирует металл от кислорода;

5) текучесть образовавшихся оксидов должна быть такой, чтобы они легко выдувались струей режущего кислорода;

6) теплопроводность металла не должна быть высокой, иначе процесс резки может прерваться из-за интенсивного теплообмена.

Далеко не все металлы обладают свойствами, удовлетворяющими все эти условия, поэтому кислородная резка для некоторых из них становится невозможной. К примеру, большая теплопроводность меди не обеспечивает условий для нагрева до температуры реакции сгорания металла, что затрудняет начальный этап резки. Поэтому мощности газовых резаков недостаточно для разрезания меди, которую режут дуговой сваркой. Стали с большим содержанием хрома, магния и никеля, а также алюминий образуют тугоплавкую пленку оксидов, которая препятствует контакту металла с кислородом, что затрудняет кислородную резку.

1.1.4. Плазменная резка.

Типичная система плазменной резки состоит из источника тока, контура зажигания дуги и резака. Эти компоненты обеспечивают электрическую энергию, ионизацию газа и управление процессом, необходимые для выполнения качественной резки различных материалов с высокой производительностью.

Напряжение холостого хода обычно находится в диапазоне от 240 до 400 В постоянного тока. Выходной ток источника определяет скорость резки и толщину материала, который способна обрабатывать система.

Основная функция источника тока состоит в обеспечении достаточной энергии для поддержания плазменной дуги после ионизации.

Конур зажигания дуги представляет собой высокочастотный генератор, подающий на выход переменное напряжение от 5000 до 10000 В с частотой 2 МГц. Это напряжение используется для создания дуги высокой интенсивности внутри резака, чтобы ионизировать газ и, таким образом, получить плазму.

1.1.5. Лазерная резка [9].

Воздействие лазерного излучения на материал при резке характеризуется физическими процессами, связанными с поглощением и отражением излучения, распространением поглощенной энергии по объему материала за счет теплопроводности и др. а также специфическими для процесса резки особенностями. На участке воздействия излучения материал нагревается до первой температуры разрушения – плавления. При дальнейшем поглощении излучения материал расплавляется и от участка воздействия излучения в объем начинает перемещаться фазовая граница плавления. Наряду с этим энергетическое воздействие лазерного излучения приводит к последующему повышению температуры, достигающей второй температуры разрушения – кипения, когда имеет место активное испарение. Значительное влияние на интенсивность процессов нагрева и разрушения также оказывает поглощательная способность материала, зависящая от температуры поверхности, длины волны, поляризации и угла падения излучения на обрабатываемую поверхность. Таким образом, при воздействии лазерного излучения на металлы возможны два механизма резки – плавление и испарение.

Различают четыре основных метода лазерной резки:

1. Лазерная резка за счет испарения поверхности материала;
2. Газолазерная резка за счет расплавления и выдувания расплава;
3. Газолазерная резка в присутствии окислителя (кислорода);
4. Управляемая резка в режиме раскалывания материала за счет градиента температуры.

Сравнение плазменной резки, резки CO_2-лазером и резки волоконным лазером. Преимущества волоконного лазера [10]

В свое время установки для плазменно-дуговой резки имели определенные технологические ограничения по минимальной толщине разрезаемого материала и точности резки. В современных же установках можно осуществлять резку с получением скосов. Повышена сила тока, на которую рассчитаны источники питания и скорость подъема – опускания плазменных резаков. Установки стали оснащать сервоприводами переменного тока, а их точную настройку производить с помощью реечно-зубчатых передач, что позволило повысить точность для плазменной

резки примерно до уровня установок для лазерной резки, хотя в отношении точности позиционирования плазменные установки все еще отстают. Скорости быстрых перемещений достигают в них в настоящее время 7,5 м/мин. Благодаря увеличению быстродействия систем управления увеличилось ускорение – замедление плазменных резаков, что, в свою очередь, благоприятно повлияло на качество получаемых при резке кромок.

Одним из наиболее очевидных недостатков плазменных установок по сравнению с лазерными было значительно большее время, требовавшееся для их подготовки к процессу резки (горелку нужно было сперва позиционировать, затем медленно опустить до касания с разрезаемым материалом и только затем могла начаться обработка), причем за соблюдением требуемого расстояния от сопла горелки до разрезаемого материала следила система обратной связи по величине напряжения дуги. Теперь подъемные устройства горелок работают быстро и точно от систем ЧПУ, увеличивая тем самым производительность и качество реза.

Точность лазерной резки достигает 0,1 мм при повторяемости ±0,05 мм, причем качество реза стабильно высокое, поскольку зависит только от постоянства скорости перемещения лазерного луча, параметры которого остаются постоянными, тогда как более низкая точность (0,25 мм) и повторяемость 0,175 мм) плазменной резки, а также более низкое качество реза обусловлены трудностями поддержания в удовлетворительном состоянии ее компонентов – сопел, электродов и т. д. Усовершенствования применительно к плазменной резке состоят в увеличении срока службы этих компонентов и обеспечении в течение этого срока стабильности их работы, а, следовательно, и качества реза.

Из конструктивных особенностей волоконного лазера следуют его основные свойства:

1. Полное отсутствие мало ресурсных элементов, ресурс диодов накачки не менее 50000 часов.

2. Такой же общий ресурс, связанный с тем, что в лазере нет локальных энергетически высоконагруженных мест, отсюда не критичность к качеству охлаждения.

3. Низковольтная конструкция, в лазере нет напряжений более 24 В

4. Высокий КПД – 22–25 %, что более чем в 2 раза выше КПД CO_2-систем и в 7–10 раз выше КПД твердотельных лазеров.

Из приведенного выше следует, что самым эффективным из трех способов разрезания – плазмой, CO_2-лазером и волоконным лазером – является резка волоконным лазером.

В настоящее время в России разработан опытный образец оборудования для утилизации боеприпасов. Принцип работы его основан на

резке металла резцом и фрезой, с присущими этому способу недостатками.

Таким образом, проведенные исследования показали, что при проектировании аппаратуры автоматической резки корпусов боеприпасов для надежной (успешной) организации эффективной промышленной утилизации указанных боеприпасов необходимо использовать лазерные системы, совершенствовать методы, технологии, создавать специальное оборудование и оснастку для автоматической резки корпусов боеприпасов с отделением медных поясков.

Список литературы

1. *Латухин, А. Н.* Современная артиллерия. – М. : Воениздат, 1970. – 320 с.
2. Уничтожение химического оружия. М. : Наука, 1975. – 141 с.
3. Патент RU 2293006 C1 на изобретение. – Способ резки материалов / Дробязко С. В., Сенаторов Ю. М.
4. Режущая головка для лазерной резки листового металла : пат. 2003128058 A Рос. Федерация / Забелин А. М.
5. Устройство для контактной лазерной обработки : пат. 2266802 C2 Рос. Федерация / Усов С. В., Белобратов Ю. А., Кокоулин М. М.
6. Установка для лазерной обработки : пат. 75601 U1 Рос. Федерация / Соловьев Н. Г., Шемякин А. Н., Якимов М. Ю.
7. *Гжиров, Р. И.* Справочник конструктора. – Л. : Машиностроение, 1983. – 464 с.
8. *Балакшин, Б. С.* Основы технологии машиностроения. – М. : Машиностроение, 1969. – 358 с.
9. *Харанжевский, Е. В.* Физика лазеров, лазерные технологии и методы математического моделирования лазерного воздействия на вещество / Е. В. Харанжевский, М. Д. Кривилев. Ижевск : Изд-во «Удм. гос. ун-т», 2011
10. ООО НТО «ИРЭ-Полюс». – URL: http://www.ntoire-polus.ru/products_powerful.html

УДК 502.656

В. А. Алексеев, д-р техн. наук, профессор
В. П. Усольцев, канд. техн. наук, вед. инженер-электроник
С. И. Юран, д-р техн. наук, профессор
E-mail: alekseevv@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Разработка теоретических и методических основ управления аварийными сбросами крупных промышленных предприятий

Трудно переоценить роль воды в нашей жизни. К сожалению, в реальности вода в большинстве случаев загрязнена множеством соединений, концентрации которых часто превышают нормы. Контроль качества воды затрагивает очень многие стороны жизни человеческого общества. В настоящее время из-за обострившихся угроз загрязнения воды контроль ее качества становится проблемой социальной, политической, медицинской, географической, а также инженерной и экономической.

Существенный вклад в загрязнение воды вносят сточные воды промышленных предприятий. Постоянно возрастающие объёмы сточных вод, увеличивающееся количество видов и степени загрязнений существенно осложняют решение вопросов минимизации экологических рисков и управления экологической обстановкой в крупных городах [1].

Вопросы совершенствования структуры системы управления сточными водами, ее функционирование в городской среде в условиях наличия крупных предприятий, рационализация межотраслевых взаимодействий в указанной сфере требуют дальнейшего изучения и обобщения. Первостепенное значение имеет разработка теоретических и методических основ управления сточными водами с учетом социально-экологического и экономического потенциала крупных предприятий [2].

Существующие методы анализа сточных вод, как правило, требуют применения сложной аппаратуры и значительного времени для проведения анализа, что не всегда возможно в производственных условиях. Это не позволяет в режиме реального времени фиксировать и устранять попадание аварийного выброса в систему фильтрации.

Существование корреляционных связей между оптической плотностью и другими параметрами, характеризующими содержание и виды загрязнений, является предпосылкой построения аппаратуры для контроля загрязнения сточных вод [3, 4]. Для больших станций очистки

© Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И., 2015

крупных предприятий предлагаемый метод достаточно перспективен. В этом случае оптическая плотность будет пропорционально связана с видом и содержанием загрязнений.

Как следует из спектральных характеристик возможных загрязнений, измеряя величину оптической плотности сточной воды на определенной длине волны и сопоставляя эту величину со значениями нормируемых показателей, характерных для конкретного загрязнения, можно установить уровни оптической плотности, соответствующие наличию загрязнений в сточной воде и, таким образом, по величине этого показателя оперативно контролировать содержание и виды загрязнений в сбрасываемых стоках.

Для повышения достоверности и оперативности анализа сточных вод разработаны «Методика тестирования неоднородных жидких оптических сред» [5] и «Методика формирования базы данных кривых измерения оптической плотности неоднородных жидких сред» [6].

На основании обобщенной вероятностной математической модели поступления сточных вод на очистные сооружения при залповых сбросах [7] разработана структурная схема (рис. 1) системы автоматизации устранения аварийных выбросов сложного состава.

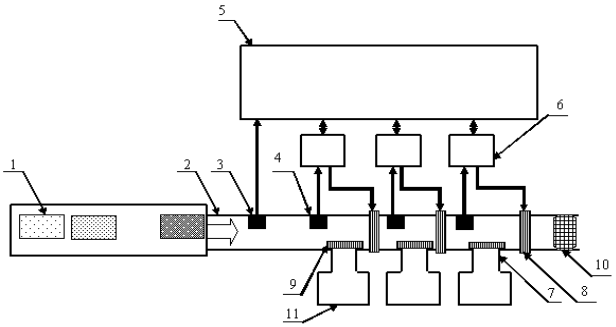


Рис. 1. Схема автоматизации устранения аварийных выбросов сложного состава: *1* – виды загрязнений сточных вод; *2* – система канализации; *3* – универсальный оптоэлектронный датчик; *4* – специализированные оптоэлектронные датчики; *5* – главный процессор; *6* – специализированные контроллеры; *7* – отводы (ответвления) для выделения загрязнений; *8* – основные заслонки; *9* – дополнительные заслонки; *10* – основные устройства очистки, фильтры; *11* – дополнительные узлы очистки, отстойники

Схема разработана с учетом вероятности появления аварийных сгустков и существования корреляционных связей между оптической плотностью и другими параметрами, характеризующими концентрацию и

виды загрязнений, и позволяет идентифицировать и устранять аварийные выбросы в системах фильтрации сточных вод в явно выраженных условиях многомерности и неопределенности [8].

При выбросе загрязнения определенного вида *1* в систему канализации *2* универсальный оптоэлектронный датчик *3* вырабатывает сигнал, пропорциональный уровню загрязнения, поступающий на главный процессор *5*. В главном процессоре по соответствующей программе происходит сравнение уровня сигнала с предельно допустимым уровнем.

В случае достижения или превышения этого уровня, выдается команда на активизацию специализированных оптоэлектронных датчиков *4*, каждый из которых имеет определенную частоту оптического излучения и приема, соответствующие конкретному виду загрязнения, а также специализированных контроллеров *6*, переключающих основные заслонки *8*. После выделения определенного вида загрязнения *1* соответствующим специализированным оптоэлектронным датчиком *4* соответствующий специализированный контроллер *6* посылает управляющий сигнал на одну из основных заслонок 8, и вода, имеющая повышенный уровень определенного вида загрязнения через дополнительные заслонки *9*, поступает в дополнительные узлы очистки, отстойники *11*. Из отстойника загрязненная вода либо вновь поступает на специализированные этапы очистки, либо определенным образом утилизируется. После окончания протекания загрязнения универсальный оптоэлектронный датчик *3* направляет сигнал в главный процессор *5*, который управляющим сигналом возвращает специализированные оптоэлектронные датчики *4*, основные заслонки *8*, дополнительные заслонки *9* в исходное состояние и вода поступает на основные устройства очистки, фильтры *10*. Введя дополнительный универсальный оптоэлектронный датчик, расположенный на заданном расстоянии от первого, можно определить скорость перемещения и время переключения заслонок. В соответствии с загрязнением оптического тракта допустимый уровень загрязнения автоматически корректируется.

На базе описанной структурной схемы разработана лабораторная установка для контроля изменений оптической плотности жидких сред [9]. Она содержит емкости для жидких сред, вентили для получения неоднородных жидких сред, «крестовину» с установленными источником и приемником излучения, устройство согласования с компьютером, исполнительное устройство (для отделения примесей). Результаты экспериментов отображаются на виртуальной панели управления лабораторной установкой, которая выводится на монитор (рис. 2).

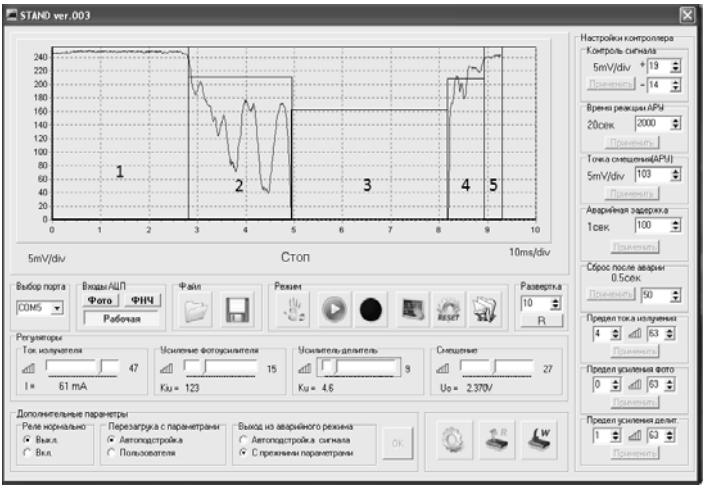


Рис. 2. Виртуальная панель управления лабораторной установкой

На ней задаются: режим автономный или ручной, старт и стоп мониторинга, очистка экрана, перезагрузка контроллера, открытие панели настроек контроллера, где устанавливают время реакции АРУ, точку смещения АРУ, аварийную задержку, сброс после аварии, предел тока излучения, предел усиления фото, предел усиления делителя.

При настройке на текущую среду задаются: выходной ток излучателя, коэффициент преобразования, коэффициент усиления, рабочая точка. При подготовке к тестированию выбирают порт, устанавливают настройки контроллера, настраиваются на текущую среду, проверяют уровень сигнала в контрольных точках АЦП, определяют область отображения сигнала.

В процессе тестирования подается анализируемая жидкая среда, результаты тестирования запоминаются в компьютере. После окончания тестирования полученные результаты обрабатываются и оформляются в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

Установка протестирована загрязнениями водной среды примесями подсолнечных масел и нефти. При прохождении через оптическую систему границы сред «вода – масло» и «вода – нефть» значения сигнала на выходе фотоприемника скачкообразно повышаются до максимального уровня и легко идентифицируются (рис. 2).

Проведенные исследования показали, что при проектировании систем управления аварийными сбросами в технологическом процессе очистки сточных вод крупного предприятия для успешного выявления и

устранения аварийных ситуаций необходимо с помощью разработанных теоретических и методических основ учитывать вероятность появления аварийных сгустков и наличие корреляционных связей между оптической плотностью и другими параметрами, характеризующими содержание и виды загрязнений.

Список литературы

1. *Габричидзе, Т. Г.* Основы комплексной системы безопасности критически важных (потенциально опасных) объектов муниципального и регионального уровней : моногр. – Самара : Изд-во Самар. НЦ РАН, 2011. – 391 с.
2. *Горшков, М. В.* Экологический мониторинг : учеб. пособие. – Владивосток : Изд-во ТГЭУ, 2010. – 313 с.
3. Устройство устранения аварийного выброса : пат. № 113845 Рос. Федерация : МПК[7]: G01N 21/00 / Алексеев В. А., Козаченко Е. М., Юран С. И., Перминов А. С. – № 2011144701/28 (067035) ; заявл. 03.11.2011 ; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 16.
4. *Алексеев, В. А.* Управление аварийными сбросами в технологическом процессе очистки сточных вод предприятия / В. А. Алексеев, Е. М. Козаченко, С. И. Юран // Приборостроение-2012 : материалы V Междунар. науч.-техн. конф. (21–23 нояб. 2012 г.) – Минск : Изд-во Бел. нац. техн. ун-та, 2012. – С. 5–6.
5. *Алексеев, В. А.* Методика тестирования неоднородных жидких оптических сред / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Приборостроение в XXI веке – 2013. Интеграция науки, образования и производства : сб. материалов IX Всерос. НТК с междунар. участием. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 349–353.
6. *Алексеев, В. А.* Формирование базы данных кривых изменения оптической плотности неоднородных жидких сред / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Комплексная защита объектов информатизации и измерительные технологии : сб. науч. тр. Всерос. НПК с междунар. участием (Санкт-Петербург, 16–18 июня 2014 г.). – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – С. 93–95.
7. *Алексеев, В. А.* Обобщенная вероятностная математическая модель поступления сточных вод на очистные сооружения при залповых сбросах / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1 (23) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014. – С. 108–113.
8. *Алексеев, В. А.* Идентификация аварийных выбросов в системах фильтрации сточных вод в явно выраженных условиях многомерности и неопределенности / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2 (22) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – С. 173–177.
9. *Алексеев, В. А.* Установка мониторинга загрязнения сточных вод / В. А. Алексеев, Е. М. Козаченко, С. И. Юран // Измерения в современном мире – 2011 : сб. науч. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С. 72–74.

УДК 681.785

В. А. Алексеев, д-р техн. наук, профессор, ученый секретарь
С. И. Юран, д-р техн. наук, профессор
E-mail: alekseevv@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Использование фотоплетизмографа для контроля состояния дежурного

Важной задачей во многих областях человеческой деятельности является необходимость контроля физиологического состояния человека, выполняющего служебные обязанности, связанные с экстремальными условиями. К таким профессиональным обязанностям можно отнести действия оператора, водителя, машиниста, летчика, военнослужащего, охраняющего важный объект (в общем случае дежурного) и др. При этом, с одной стороны, требуется контроль основных систем организма для оценки способности выполнять свои профессиональные задачи, с другой – контроль таких состояний, как стресс, ослабление внимания вследствие усталости, засыпание, отвлечение от выполнения своих основных обязанностей и др.

При этом возможны универсальные подходы к решению указанных задач, например, использование бесконтактных технических средств контроля, направленных на регистрацию состояния оператора по анализу его видеоизображения путем оснащения рабочих мест (постов) видеокамерами, следящими за ослаблением внимания, засыпанием, (отсутствием дежурного) покиданием дежурным своего места. Кроме этого широко используются информационно-измерительные системы, контролирующие основные системы организма (сердечнососудистая, нервная, дыхательная и др.). Однако в ряде случаев такие подходы являются неприемлемыми вследствие необоснованно больших затрат и сложности реализации.

В работе обосновывается возможность применения аппаратуры на основе метода фотоплетизмографии для объективной оценки состояния дежурного.

Среди методов, позволяющих оценивать состояние такой важной в данном подходе системы, а именно, сердечно-сосудистой системы, является метод фотоплетизмографии [1]. Параметры пульсовой кривой, регистрируемой в реальном масштабе времени, отражают многие важные гемодинамические показатели, связанные с жизнедеятельностью

© Алексеев В. А., Юран С. И., 2015

организма человека (рис. 1). При использовании аппаратуры на основе метода фотоплетизмографии можно программировать основные гемодинамические показатели, рассчитываемые по параметрам пульсовой кривой, и возможные отклонения от них для конкретного человека. В случае превышения заданных границ индивидуальных параметров для дежурного на контролирующий пункт подается соответствующий сигнал тревоги.

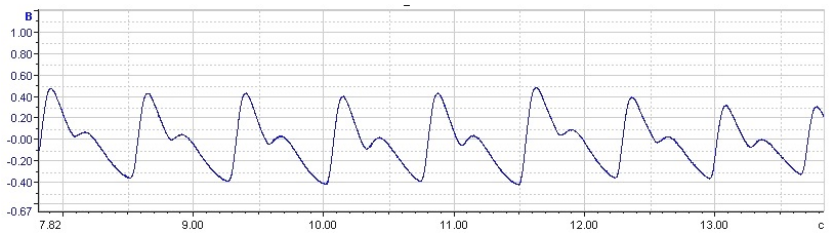


Рис. 1. Реализация фотоплетизмограмм

В настоящее время существует аппаратура для непрерывной регистрации пульсовой кривой и насыщения артериальной крови кислородом с возможностью передачи информации по радиоканалу [2, 3]. Оптоэлектронный датчик устанавливается на одной из фаланг пальца руки человека. При отклонении регистрируемых параметров от заданных для конкретного человека оповещается соответствующий персонал, и проводятся необходимые мероприятия. Для крепления оптоэлектронного датчика, кроме фаланги пальца руки, можно использовать лоб и мочку уха (в головных уборах, шлемофонах), запястье (с помощью браслета) и др.

Состояние сердечно-сосудистой системы можно объективно оценивать и обрабатывая изменения частоты пульса человека, например, выделяя из электрокардиосигнала последовательность RR-интервалов и определяя статистическими методами параметры вариабельности сердечного ритма [4]. Данный метод обладает высокой чувствительностью к различным воздействиям на организм человека. В основу определения временных интервалов между ударами сердца может быть положена регистрация длительности периодов пульсовой кривой с использованием метода фотоплетизмографии.

Кроме этого, состояние человека, связанного с выполнением служебных обязанностей в сложных условиях, эффективно определять по дыхательной функции организма [5]. Регистрацию дыхательных волн можно обеспечить, обрабатывая фотоплетизмографический сигнал, в

котором кроме пульсового сигнала (волны первого порядка), содержатся и «медленные» дыхательные волны (волны второго порядка) [6]. На графике (рис. 2) показаны медленные волны, обусловленные дыхательной функцией организма. Фильтруя переменную составляющую такого сигнала, можно выделить дыхательные волны и определить их параметры, а также использовать для контроля состояния человека-дежурного.

Существуют корреляционные связи между параметрами, характеризующими состояние сердечно-сосудистой системы, например, частотой пульса и дыхательным ритмом [7]. При возникновении стрессовых ситуаций теснота таких связей снижается, что можно использовать для контроля состояния дежурного.

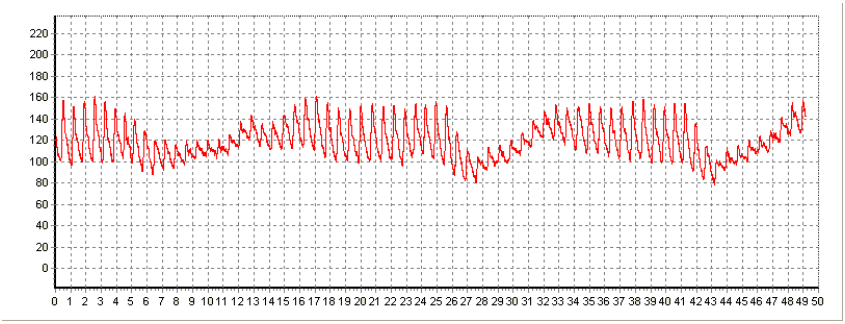


Рис. 2. Реализация фотоплетизмограмм с волнами первого и второго порядков

Кроме показателей, определяемых на основе метода фотоплетизмографии, одним из эффективных методов оценки состояния операторов, водителей, машинистов и др. является контроль изменений амплитудно-временных характеристик сопротивления кожи человека [8]. Дополнив корпус оптоэлектронного датчика электродами, можно контролировать данные параметры совместно с фотоплетизмограммой и насыщением крови кислородом.

Систему контроля дежурного на основе применения метода фотоплетизмографии можно представить в виде схемы на рис. 3.

Таким образом, регистрируя и обрабатывая сигнал с оптоэлектронного датчика, можно контролировать такие важные для оценки состояния человека-дежурного системы организма, как сердечно-сосудистая [9], дыхательная, а также нервная, определяя его физиологическое состояние, в том числе уровень бодрствования и бдительность.

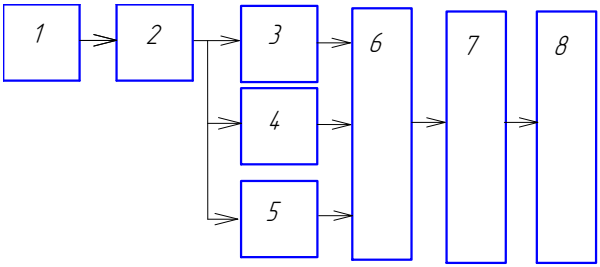


Рис. 3. Система контроля состояния дежурного: *1* – человек-дежурный; *2* – оптоэлектронный датчик; *3* – блок определения параметров фотоплетизмограмм; *4* – блок определения параметров пульса; *5* – блок определения параметров дыхания; *6* – канал связи; *7* – система анализа; *8* – система оповещения

Данную информацию можно использовать для обеспечения успешного выполнения поставленных перед данными специалистами профессиональных задач.

Список литературы

1. *Алексеев, В. А.* Проектирование устройств регистрации гемодинамических показателей животных на основе метода фотоплетизмографии : монография / В. А. Алексеев, С. И. Юран. – Ижевск : ИжГТУ, ИжГСХА, 2006. – 248 с.

2. *Yang, B.* A twenty-four hour tele-nursing system using a ring sensor / B. Yang, S. Rhee, H. Asada // International Conf. On Robotics & Automation. – Leuven, Belgium, 1998. – P. 387–392.

3. *Юран, С. И.* Устройство для телеметрического контроля физиологического состояния животных / С. И. Юран, А. А. Дюпин // Современные проблемы аграрной науки и пути их решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф., 15–18 февр. 2005 г. – Т. 2. – Ижевск, 2005. – С. 601–606.

4. *Баевский, Р. М.* Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. И. Кириллов, С. В. Клецкин. – М. : Наука, 1984. – 219 с.

5. *Шурыгин, И. А.* Мониторинг дыхания: пульсооксиметрия, капнография, оксиметрия. – СПб. : Невский диалект, 2000. – 301 с.

6. Исследование характеристик макета фотоплетизмографа / А. С. Перминов [и др.] // Научное обеспечение инновационного развития АПК : материалы Всерос. НПК (16–19 февр. 2010). – Т. 3. – Ижевск : ФГОУ ВПО ИжГСХА, 2010. – С. 216–222.

7. Юматов, Е. А. Информационная система для объективной оценки эмоционального стресса / Е. А. Юматов, М. Н. Крамм, А. Б. Набродов // Технологии живых систем. – 2007. – № 4. – С. 112–119.

8. *Дементиенко, В. В.* Физические принципы построения систем безопасного мониторинга человека-оператора : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М. : ИРЭ имени В. А. Котельникова РАН, 2010. – 38 с.

9. *Алексеев, В. А.* Многофункциональный датчик для фотоплетизмографии / В. А. Алексеев, В. И. Заболотских, С. И. Юран // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления : материалы XII НТК с участием зарубежных специалистов. – М. : МГИЭМ, 2000. – С. 255–256.

УДК 621.373.826

В. В. Бесогонов, канд. техн. наук, доцент по специальности, зав. кафедрой
E-mail: vbesog@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
Институт механики УрО РАН, г. Ижевск

Применение лазеров для инициирования выпадения осадков

Вопрос о возможности влияния на процесс выпадения осадков над определенной территорией привлекает внимание как в засушливых районах, так и в районах с большим их количеством. В данной работе рассмотрен вопрос возможности применения лазеров для формирования условий выпадения осадков из облаков в средних широтах. Это можно использовать для обеспечения условий проведения массовых мероприятий под открытым небом. Если до подхода облаков к заданной территории осадки из облаков уже выпадут, то мы с большой вероятностью можем обеспечить хорошую погоду. В данной работе под хорошей погодой понимается минимальная облачность без осадков. В настоящее время имеется ряд технологий, которые позволяют предотвратить выпадение осадков над заданной территорией. Однако с экологической точки зрения они являются не совсем безвредными для окружающей среды [1].

Рассматриваются процессы в тропосфере – наиболее изученном нижнем слое атмосферы. Высота этого слоя в полярных областях 8–10 км, в умеренных широтах до 10–12 км, на экваторе – 16–18 км. В этой области развиты процессы турбулентности и конвекции, формируются атмосферные фронты, сосредоточена преобладающая часть водяного пара, возникают облака, развиваются циклоны и антициклоны, а также другие процессы, определяющие погоду и климат.

Осадки – это вода в жидком или твердом состоянии, выпадающая из облаков или осаждающаяся из воздуха на поверхности земли и на предметах [2]. В зависимости от конкретных условий образования осадки делятся на 3 вида.

© Бесогонов В. В., 2015

1) Обложные – выпадают из облаков одновременно на большой площади и распределяются по территории сравнительно равномерно. Обычно продолжаются достаточно длительное время. Интенсивность осадков возрастает с увеличением влажности воздушной массы и величины упорядоченных вертикальных движений.

2) Моросящие – выпадают преимущественно из низких слоистых и слоисто-кучевых облаков. Часто образуются при положительных температурах. Морось – состоит из очень мелких капель. Зимой вместо мороси выпадают мелкие снежинки и снежные зерна.

3) Ливневые – интенсивные, но мало продолжительные. Ливневые осадки выпадают из кучево-дождевых облаков. Их сравнительно небольшие продолжительность и горизонтальная протяженность объясняются тем, что они связаны с отдельными облаками. Интенсивность их может сильно меняться по территории.

Для образования осадков целесообразнее работать с кучево-дождевыми и слоисто-дождевыми облаками.

В целом можно сказать, что несмотря на наблюдаемое разнообразие облаков и неповторимость условий, при которых в них возникают осадки, существует определенный, достаточно узкий диапазон изменения физических параметров, характеризующих и обеспечивающих образование осадков в капельных облаках. К указанным параметрам относят высоту основания облака и температуру воздуха на этом уровне, определяющих водность облака; мощность облака и температуру на уровне его верхней границы, от которых зависит, будет ли данное облако чисто капельным или смешанным [3].

Кучево-дождевое облако имеет сложное распределение капель воды, поэтому в первом приближении можно считать, что в некотором объеме облака распределение капель в пространстве равномерно, распределение капель по радиусам можно задать экспоненциальным соотношением и водность облака принимает постоянное значение, равное наибольшему возможному 3 г/м^3.

В зависимости от температуры воздуха в облаке формирование частиц осадков ($r > 100$ мкм) происходит в основном по двум механизмам [2, 3]:

а) при $t > 0$ °С, когда облако состоит из жидких капелек воды, крупные капли – частицы осадков, образуются в результате конденсации (под конденсацией пара понимается как собственно конденсация пара на капле, так и конденсация на капле вследствие перегонки пара с мелких на крупные (переконденсация)) водяного пара и коагуляции капель;

б) при $t < 0$ °С, когда в облаке кроме капелек появляются частички твердой фазы, вступает в действие эффективный механизм образования крупной частицы – перегонка пара с капель на кристалл; он получил

название механизма Т. Бержерона – В. Финдайзена, хотя впервые был предложен А. Вегенером (1911).

Натурные исследования облаков, дающих осадки, показали, что оба механизма возможны в естественных условиях. Однако повторяемость теплых облаков ($t > 0^{\circ}$C) значительно меньше, чем имеющих переохлажденную часть ($t < 0^{\circ}$C), особенно в средних широтах. Поэтому сначала механизм Бержерона – Финдайзена получил всеобщее признание, а все остальные процессы считались очень медленными. Последующие теоретические исследования и расчеты показали важность также и первого пути образования осадков.

В конвективных и слоистообразных облаках механизмы образования осадков различны. Обусловлено это различием свойств облаков. В конвективных – велики скорости восходящего потока и водность. Поэтому в них важна коагуляция частиц, время развития осадков составляет десятки минут. В слоистообразных облаках скорости и водность относительно невелики, облака существуют длительное время, осадки развиваются в основном благодаря образованию и росту кристаллов [3].

На начальной стадии развития конвективного кучево-дождевого облака, когда частицы еще малы ($r < 20$ мкм), основную роль в их укрупнении играет конденсация (сублимация) водяного пара. Конденсация происходит вследствие поднятия облачной массы, которое приводит к ее охлаждению в результате расширения воздуха и созданию малых пересыщений пара относительно поверхности капель. Если в облаке наряду с каплями имеются ледяные кристаллы, то происходит их быстрый преимущественный рост по механизму Бержерона – Финдайзена.

На второй стадии развития облака, после достижения облачными частицами размера 20–50 мкм, преобладающую роль начинает играть коагуляция, приводящая к быстрому укрупнению частиц и формированию в облаке частиц осадков. При этом некоторое количество крупных капель может достичь критического размера (2,5–3,2 мм) и оказаться неустойчивым. Такие капли распадаются на несколько мелких и крупных. Последние, в свою очередь, растут, достигают критического размера и вновь распадаются, порождая новые частицы осадков. Такой механизм размножения крупных капель предложен Ленгмюром и получил название цепной реакции Ленгмюра [3].

На третьей стадии за счет быстрого коагуляционного роста происходит быстрая диссипация облака за счет выпадения осадков. По мере роста масса капли увеличивается, и скорость падения возрастает. Под влиянием коагуляции капля продолжает расти и начинает падать, превращаясь в частицу осадков. При этом установлено, что чем больше скорость восходящего потока, тем больше конечный размер капли, и чем больше

начальный радиус капли, тем меньше конечный, т. к. при этом высота падения капли в облаке уменьшается [3].

Таким образом, в случае необходимости ускорения выпадения осадков необходимо ускорить первую стадию развития кучево-дождевого облака.

При решении задачи приняты следующие допущения: тропосфера рассматривается в краткий промежуток времени и все процессы, вызванные воздействием лазерного излучения, протекают настолько быстро, что изменениями состояния атмосферы можно пренебречь. Тропосфера состоит из неподвижного сухого воздуха и облаков. Воздух имеет заданные распределения температуры и давления. Облака состоят только из капель воды с заданным распределением по радиусам. Количество пара в атмосфере быстро убывает с высотой и им можно пренебречь. Капли распределены равномерно по объему облака, облако имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Все процессы протекают адиабатически.

Водность облака принимаем максимально возможной 3 г/м^3 [2]. Задача испарения воды в единичном объеме может быть сведена к испарению воды, находящейся в каплях объемом 1 м^3 и которую можно считать слоем воды толщиной d_{sloy} = 17,52 мкм.

Суммарная площадь проекций капель в единичном объеме на плоскость куба с гранью 1м:

$$S = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \pi r^2 n(r) dr = 0{,}172 \text{ м}^2 ,$$

где $r_{\min}$, $r_{\max}$ – минимальный и максимальный возможные радиусы капель при заданной водности; $n(r)$ – распределению капель по радиусам.

Если ячейка единичного объема имеет площадь основания S, то ее высота равна 5,83 м. Воздействие лазерного излучения на облака моделировалось исходя из следующей модели.

Выбрана одна ячейка, состоящая из воздуха и капель воды. Допускается, что сразу после нагрева и испарения ячейка считается замкнутой системой, где происходит теплообмен между парами воды и окружающим его воздухом.

Считая, что энергия лазерного излучения тратится на нагрев воды до температуры испарения и фазовый переход, определяется начальная температура нагретого паром воздуха. Нагретый воздух становится легче, чем окружающий его холодный и на ячейку теплого воздуха действует возрастающая с высотой подъемная сила Архимеда (рис. 1).

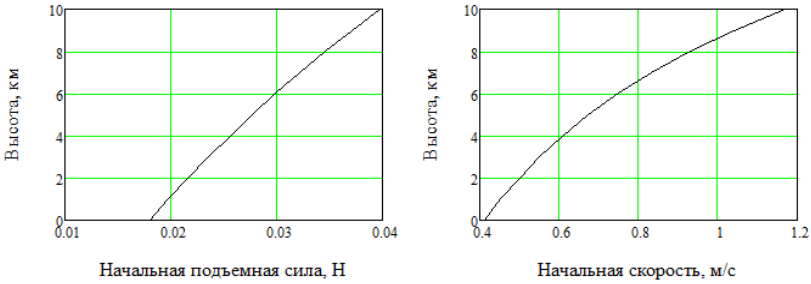


Рис. 1. Зависимость начальной подъемной силы и скорости ячейки от высоты

В результате изменения высоты ячейка окажется в области с более низким давлением. Чем ниже давление воздуха, тем выше парциальное давление пара и относительная влажность воздуха. Вычисляется давление пара, полученного при испарении воды в ячейке, давление насыщенного пара и точка пересечения графиков определяет высоту начала осаждения пара на ядрах конденсации. Если же ячейка с паром поднимается в сухом чистом воздухе, то конденсация начнется гораздо позже, когда перенасыщение пара достигнет критического значения. Поэтому важным фактором является наличие капель воды над испаряемой ячейкой. Высота начала конденсации при водности 3 г/м^3 составляет 3206 м.

По мере подъема ячейка охлаждается, и подъемная сила уменьшается. Если высота ячейки больше, чем высота точки росы, то после охлаждения в ячейке может начаться процесс конденсации.

В естественных условиях в облаке до начала выпадения дождя проходит 45–60 минут [2, 4]. При этом единичные объемы поднимаются один за другим, непрерывно и не перемешиваясь. Если осуществлять дополнительный подогрев лазерным излучением, то можно заставить несколько ячеек «накладываться». При этом относительная влажность значительно повысится, водяной пар станет пересыщенным, и процесс конденсации начнется гораздо ниже.

Пересыщенный водяной пар конденсируется в капли воды, и его концентрация понижается до насыщенного значения. Конденсация приводит к падению давления в объеме влажного воздуха. Вертикальный градиент давления воздуха оказывается больше веса единичной объема воздуха. Появляется направленная вверх сила, действующая на единичный объем воздуха. Статическое равновесие в гравитационном поле становится невозможным. Возникает восходящий поток воздушных масс, вызванный конденсацией. Таким образом, ячейка продолжает

медленное движение вверх даже после начала конденсации, захватывая капли воды, находящиеся на ее пути.

Капли, полученные в результате конденсации, но еще не имеющие достаточной массы для преодоления подъемной силы, продолжают подниматься вверх и быстро растут за счет коагуляции. Когда масса капель становится достаточной для преодоления подъемной силы, начинается движение вниз. Таким образом запускается механизм роста капель за счет коагуляции [2, 3, 5].

Оценочный расчет энергии и плотности энергии, необходимой для нагрева ячейки единичного объема от температуры окружающей среды до температуры кипения на высоте 3 км, составляет 1 348 Дж и 7 860 Дж/м^2 соответственно. Для нагрева и испарения единичного объема воды необходимы 8 128 Дж и 47 390 Дж/м^2 соответственно.

В работе не затрагиваются вопросы выбора оптимальной длины волны лазерного излучения, направления воздействия на облака лазерным излучением, возможность других способов воздействия на облака и т. д.

Список литературы

1. *Гинзбург, А. С.* Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат // Рос. хим. Журнал. – 2008. – Т. LII, № 5. – С. 112–119.

2. *Хргиан, А. Х.* Физика атмосферы. – Ленинград, 1969. – 646 с.

3. *Ивлев, Л. С.* Физика атмосферных аэрозольных систем / Л. С. Ивлев, Ю. А. Довгалюк. – СПб. : НИИХ СПбГУ, 1999. – 194 с.

4. ГОСТ 26352–84 Модель влажности воздуха в северном полушарии // StandartGOST.ru. – URL: http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_26352-84

5. *Фейнман, Р.* Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Л. Лейтон, М. Сэндс. – Т. 5. Электричество и магнетизм. – М. : Мир, 1965. – 293 с.

УДК 621.791.72

В. В. Бесогонов, канд. техн. наук, доцент
С. В. Бузилов, канд. физ.-мат. наук, доцент
И. Н. Скворцова, ст. преподаватель
E-mail: vbesog@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Математическая модель обработки поверхности ситалла CO_2-лазерным излучением

Ситаллы представляют собой широкий класс материалов, в которых окисный состав объединен с поликристаллической структурой, состоящей из весьма малых беспорядочно ориентированных кристаллов. Шероховатость поверхности пластины по техническим условиям завода-производителя гарантируется на период одного года после производства и уже после двух лет хранения размер между выступами и впадинами равняется ~200 нм. Дальнейшее уменьшение шероховатости поставщиком не производится. С целью уменьшения расстояния между выступами и впадинами до единиц нанометров предлагается на поверхности пластины сформировать расплавленную пленку с последующим фиксированием поверхности сверхбыстрым процессом охлаждения. Такие поверхности позволят проводить производство, размещение и исследование нанообъектов, уменьшить толщину сплошной пленки без проколов в микроэлектронике [1–4]. Предлагается финишную обработку произвести воздействием лазерного излучения на поверхность ситалла с последующим охлаждением расплавленного слоя за счет отвода тепла в объем материала. Картина температурных полей определяет в дальнейшем качество поверхности и структуру материала.

Целью данной работы является математическое описание взаимодействия лазерного излучения с поверхностью ситалла и проверка построенной модели экспериментально.

Математическая модель

Рассмотрим пластину толщиной d, на поверхность которой оказывается воздействие импульсного лазера. Будем считать, что воздействие происходит мгновенно (время взаимодействия излучения с поверхностью не учитывается), плотность мощности в пучке соответствует Гауссову распределению. Излучение поглощается поверхностью ситалловой пластины, частично проходит вглубь, при этом плотность потока энергии лазерного излучения на глубине уменьшается по экспоненциально-

© Бесогонов В. В., Бузилов С. В., Скворцова И. Н., 2015

му закону. Распределение температуры по образцу в начальный момент времени будет пропорционально поглощенной энергии. Примем, что на поверхности теплообмен с внешней средой происходить не будет.

Распределение температуры $T(x, y, z, t)$ внутри пластины можно найти из решения уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right), \tag{1}$$

с начальными

$$T(x, y, z, 0) = \frac{q_0(1-R)\alpha}{c_p \rho} e^{-k(x^2+y^2)} e^{-\alpha z}, \tag{2}$$

и граничными условиями

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0 \text{ при } z = 0 \text{ и } z = d, \tag{3}$$

где a – температуропроводность; d – толщина пластины; k – коэффициент сосредоточенности лазерного луча; α – коэффициент поглощения, q_0 – энергетическая плотность лазерного излучения в центре; c_p – теплоемкость; ρ – плотность; R – коэффициент отражения.

Решение задачи (1) с начальными (2) и граничными условиями (3) будем искать методом функции Грина [5, 6]. Распределение температуры внутри пластины под действием мгновенного источника имеет вид:

$$T = \frac{q}{c_p \rho d} \cdot \frac{1}{1+4atk} e^{-\frac{k(x^2+y^2)}{1+4atk}} \cdot \left(1 + 2\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\alpha^2 d^2}{(\alpha^2 d^2 + \pi^2 n^2)} \cos\frac{\pi n z}{d} \cdot e^{-\frac{\pi^2 n^2 at}{d^2}}\right), \tag{4}$$

где $q = q_0(1 - R)$.

Экспериментальная установка

На рис. 1 приведена экспериментальная установка по действию ЛИ на поверхность ситалла [7]. Используется импульсный CO_2-лазер с длиной волны когерентного излучения 10,6 мкм. Максимальная мощность пучка составляет 10 Вт, максимальное значение плотности мощности $1{,}8 \cdot 10^9$ Вт/м^2. За счет интерфейса установки энергетическая плотность лазерного луча может изменяться от 0 до 100 %.

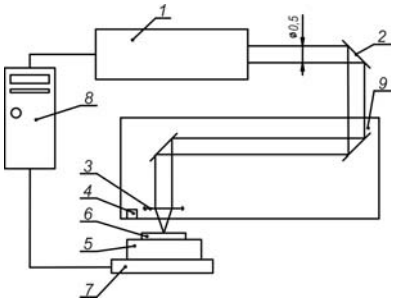


Рис. 1. Схема установки для обработки поверхности ситалла: *1* – CO_2-лазер; *2* – плоское зеркало; *3* – линза; *4* – устройство обдува; *5* – держатель для подложки; *6* – ситалловая подложка; *7* – подъемный столик; *8* – компьютер; *9* – «летающая» оптика

Анализ экспериментальных и расчетных данных

На экспериментальной установке было проведено импульсное воздействие на поверхность пластины ситалла СТ-50-1 толщиной d = 1 мм, с характеристиками лазерного излучения $q = 7\cdot10^6$ Дж/м^2, $к = 6{,}25\cdot10^8$ м$^{-2}$. Для этих данных лазерного излучения были выполнены расчеты температурных полей по формуле (4). При моделировании использовались следующие данные: коэффициент температуропроводности ситалла $a = 6{,}5\cdot10^{-7}$ м^2/с, теплоемкость c_p = 821 Дж/К·кг, плотность ρ = 2650 кг/м^3, $\alpha = 10^7$ м$^{-1}$. Результаты эксперимента и расчетов приведены на рис. 2. На рис. 2, *б* показано температурное поле в момент времени $t = 0{,}005$ с. Масштабы экспериментальной области (рис. 2, *а*) и расчетной (рис. 2, *б*)

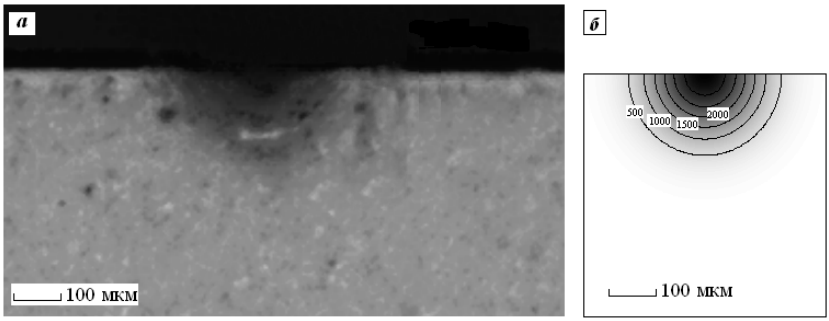


Рис. 2. Поперечное сечение пластины ситалла после импульсного воздействия лазерного излучения: *а* – при эксперименте; *б* – при моделировании (t = 0,005 с), цифры у кривых – температура изотерм

Температуры стеклования и расплавления для СТ–50–1 равны $T_{стек}$ = = 760 ºС и $T_{расп}$ = 1470 ºС. Область, где были достигнуты высокие температуры, изменилась структура материала показывает рис. 2, *а*. Расчетная модель позволяет по расположению изотерм говорить об областях проплавления объекта исследования. Анализ расчетов моделирования и проведенного эксперимента говорит о совпадении результатов.

Таким образом, на основании построенной математической модели взаимодействия лазерного излучения с веществом, на примере ситалла СТ-50-1, можно прогнозировать с высокой степенью точности размер и глубину области проплавления и аморфизации. Данное математическое описание действия лазерного излучения можно также использовать для изучения протекающих тепловых процессов в пленках [8].

Список литературы

1. *Бесогонов, В. В*. Наноструктурная модификация поверхности ситалловой подложки воздействием CO_2-лазерного излучения / В. В. Бесогонов, В. Ф. Лыс, И. Н. Скворцова // Наноинженерия. – 2011. – № 5. – С. 6–9.
2. Способ и установка для лазерной обработки поверхности ситалла : пат. 2463267 Рос. Федерация / Бесогонов В. В., Тарасов В. В., Скворцова И. Н., Лыс В. Ф. 11.01.2011.
3. Исследование топологии поверхности ситалла методом полуконтактной атомно-силовой микроскопии / В. А. Алексеев [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 172–177.
4. *Бесогонов, В. В*. Прецизионный контроль топологии поверхности ситалловых подложек СТ 50-1 / В. В. Бесогонов, И. Н. Скворцова // Измерительная техника. – 2010. – № 3. – С. 68–69.
5. *Карслоу, Г*. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. – М. : Наука, 1964. – 488 с.
6. *Полянин, А. Д*. Справочник по линейным уравнениям математической физике. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 576 с.
7. Способ и установка для лазерной обработки поверхности ситалла : пат. № 2463267 Рос. Федерация : МПК C03C 17/04, B23K 26/32 / Бесогонов В. В., Тарасов В. В., Скворцова И. Н., Лыс В. Ф.
8. *Бузилов, С. В*. Тепловое действие лазерного излучения на тонкие металлические пленки / С. В. Бузилов, С. М. Перевозчиков, В. В. Пряхин // В мире научных открытий. – 2010. – № 4-4. – С. 34–36.

УДК 621.385.833

Б. Л. Жуйков, аспирант
Е. Ю. Шелковников, д-р техн. наук, зав. лабораторией
А. В. Тюриков, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Институт механики УрО РАН, г. Ижевск

Изготовление платиновых СТМ-игл методом механического среза

При работе электрохимического сканирующего туннельного микроскопа (СТМ), когда измерения осуществляются в растворе электролита (в который погружено острие иглы) применение вольфрамовых игл нецелесообразно, учитывая коррозионные свойства вольфрама. Поэтому в таких СТМ-измерениях используют в качестве материала иглы платину. В литературе описаны различные методики изготовления платиновых игл, полученных электрохимическим травлением проволоки-заготовки в растворе электролита с последующим нанесением на нее изолирующего покрытия [1]. Известна методика электрохимического травления конца платиновой проволоки в месте контакта с поверхностью раствора, содержащего, например, цианид-ионы. Недостатком такой методики является использование высокотоксичного цианистого электролита, а также сложность получения атомарно острой иглы из-за сглаживания кончика острия и отсутствия однозначного критерия окончания процесса травления. Другая методика изготовления иглы – это электрохимическое травление конца платиновой проволоки в месте контакта с поверхностью насыщенного раствора $CaCl_2$. Недостаток методики – большая продолжительность процесса травления и недостаточная острота иглы.

В настоящее время наиболее широко применяется методика изготовления СТМ-игл путем перерезания тонкой проволоки из PtIr-сплава с помощью остро заточенных ножниц. Перерезание производится под углом ~45° с одновременным натяжением проволоки на разрыв. При перерезании происходит пластическая деформация проволоки в месте среза и ее обрыв под действием растягивающего усилия. В результате в месте среза формируется вытянутое острие с неровным (рваным) краем с многочисленными нановыступами, один из которых и оказывается рабочим элементом СТМ-зонда. Данная технология изготовления СТМ-игл применяется сейчас практически во всех лабораториях и почти всегда обеспечивает гарантированное атомарное разрешение при СТМ-исследованиях поверхности [2].

© Жуйков Б. Л., Шелковников Е. Ю., Тюриков А. В., 2015

Тем не менее такая технология изготовления также обладает существенными недостатками. Например, значительные касательные напряжения, прикладываемые к проволоке при ее разрезании ножницами, приводят к «штопороподобной» форме зондирующего острия, что, во-первых, негативно сказывается на простоте эксплуатации подобных игл, а во-вторых, не гарантирует полной вероятности появления атомарно острых нановыступов кончика острия, направленных строго по нормали к исследуемой поверхности. Прямой механический разрыв платиновой проволоки при таком способе изготовления сопряжен с существенным усилием, приложение которого не позволяет производить его строгий контроль как по величине, так и по направлению.

На рис. 1. приведена структурная схема устройства для изготовления платиновых СТМ-игл методом механического среза, лишенная этих недостатков.

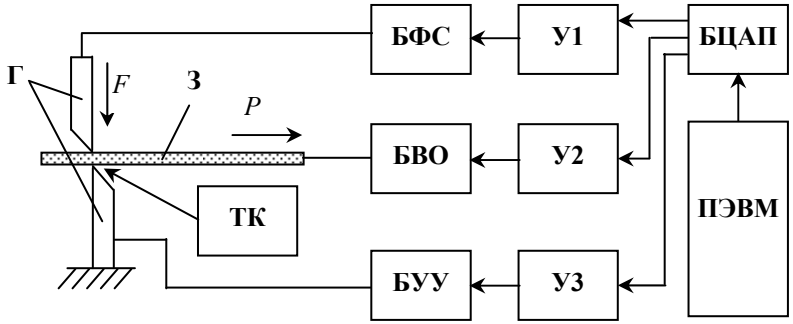


Рис. 1. Структурная схема устройства для изготовления платиновых СТМ-игл методом механического среза: З – заготовка из платиновой проволоки; Г – гильотина; БФС – блок формирования силы среза с контролем деформации в месте среза; БВО – блок вытягивания острия зонда с датчиком перемещений; БУУ – блок установки угла среза; У1–У3 – усилители; БЦАП – блок цифро-аналоговых преобразователей; ТК – телевизионная камера

Установка работает следующим образом. Сначала заготовка З из платиновой проволоки устанавливается в гильотине Г под углом ~45° к ее режущей поверхности с помощью блока БУУ установки угла среза, выбранным согласно условиям эксперимента. Закрепление конца заготовки З в гильотине Г осуществляется в месте надреза (~20 % от диаметра проволоки) при помощи блока БФС формирования силы среза с контролем деформации среза посредством телевизионной камеры ТК. Далее блок БВО вытягивания острия зонда растягивает заготовку З в месте среза, при этом заданное начальное удлинение заготовки контроли-

руется индуктивным датчиком перемещений ИД-214. При перерезании заготовки с ее одновременным растяжением на разрыв осуществляется пластическая деформация в месте среза и ее обрыв под действием растягивающей силы. В результате в месте среза формируется вытянутое острие (рис. 2) неровной формы с многочисленными нановыступами, через один из которых и протекает туннельный ток СТМ.

Рис. 2. Внешний вид острия платинового СТМ-зонда, полученный при помощи телевизионной камеры (увеличение в 125 раз)

К достоинствам предложенного устройства следует отнести возможность контроля (по величине и направлению) растягивающего усилия, а также геометрических параметров зондирующего острия в процессе его формирования. Устройство позволяет осуществлять как одновременное, так и поочередное воздействие на заготовку процессов перерезания и вытягивания для получения острия необходимой формы.

При выборе материала заготовки СТМ-иглы необходимо учитывать, что пластичность металла заготовки зависит от разности напряжений: напряжения, вызывающего разрушение, и напряжения, вызывающего начало пластической деформации. Хрупкое разрушение наступает тогда, когда напряжение, вызывающее течение металла, выше напряжения, необходимого для разрушения металла. Пластичные металлы требуют очень высоких напряжений для начала разрушения, хотя пластическое течение начинается при низких значениях напряжения сдвига. Такие металлы (к ним относится и платина) разрушаются с образованием шейки толщиной в нить. Напряжение, необходимое для разрушения, связано с энергиями вновь образующихся поверхностей. Величины энергий образования новых поверхностей при разрушении непосредственно связаны с объемным модулем деформированных металлов. В таблице приведены константы упругости металлов платиновой группы для использования в качестве заготовок СТМ-иглы [4].

Металл	Кристаллическая структура	*E*, МПа	*G*, МПа	К, МПа	$\mu \times 10^6$, см^2/кг
Ru	Г. п.	430 000	172 000	292 000	0,25
Rb	Г. ц.к.	386 400	153 000	280 100	0,26
Pd	Г. ц.к.	128300	46 100	190 900	0,39
Os	Г. п.	560 000	220 000	380 000	0,25
Ir	Г. ц.к.	530 000	214 000	378000	0,20
Pt	Г. ц.к.	174 000	62 000	280 900	0,39

Анализ данных таблицы показал, что металлы, имеющие низкую величину отношения объемного модуля к модулю сдвига (рутений, осмий, иридий), являются хрупкими. Из металлов платиновой группы исходя из этих соображений самыми пластичными являются платина и палладий. Хорошо коррелируют с указанным соотношением значения коэффициента Пуассона. Металлы с относительно низкими значениями коэффициента Пуассона плохо деформируются. Как следует из табл. 1, лучшую обрабатываемость имеют платина, палладий, а родий, иридий, рутений и (особенно) осмий обрабатываются с трудом.

Список литературы

1. Способы изготовления игл для сканирующей туннельной микроскопии : пат. № 238903 Рос. Федерация МПК G01Q60/16, B82B3/00 / Касаткин Э. В., Маркина М. В., Трофимова Е. В., Стрючкова Ю. М. ; опубл. 10.05.2010, бюл. № 13.

2. *Миронов, В. Л.* Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М. : Техносфера, 2004. – 144 с.

3. Схема численного моделирования процесса формирования СТМ-игл механическим способом / А. В. Тюриков [и др.] // Ползуновский Альманах. – 2013. – № 1. – С. 18–19.

4. Металловедение платиновых металлов / Е. М. Савицкий [и др.]. – М. : Металлургия, 1975. – 423 с.

УДК 681.586

М. С. Знаменский [1], студент
М. Р. Зарипов [2], инженер-конструктор КБ мишеней
[1] ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
[2] ЗАО «НПО Высокоточные системы и технологии»

Разработка оптической части прицела с лазерным дальномером

В условиях современных вооруженных локальных конфликтов и антитеррористических операций возросли требования к оружию, обеспечивающему высокую точность и избирательность поражения противника. Такое оружие должно иметь оптико-электронные средства, обеспечивающие стрелка своевременно точной информацией и позволяющие быстро ее обработать в процессе выполнения боевой задачи.

В решении задачи целеуказания для стрелкового оружия важную роль играют оптико-электронные прицелы, обеспечивающие получение информации о противнике и наведение оружия. В частности, совмещение оптического прицела с лазерным дальномером позволяет проводить быстрое и точное измерение расстояния до цели и открывает возможность точного наведения на цель с учетом поправок на дальность, значительно повышая таким образом эффективность стрелкового оружия [1].

Существующие в настоящее время прицелы с дальномером не всегда бывают малогабаритными. Так, прицел Рысь-ЛД, приведенный на рис. 1, имеет следующие габаритные характеристики: 330×92×66 мм^3. В то же время не все прицелы данного типа могут обеспечить автоматический ввод поправок на дальность. Например, в прицелах Nikon Monarch L700 [2] и Bushnell Yardage Pro [3] измеренное расстояние до цели высвечивается на встроенном дисплее, а стрелок при этом должен вводить поправки вручную.

Таким образом, предлагается разработать малогабаритный прицел со встроенным лазерным дальномером и автоматическим вводом поправок на дальность.

Работу прицела с дальномером в общем случае можно представить в виде функциональной блок-схемы, приведенной на рис. 2.

© Знаменский М. С., Зарипов М. Р., 2015

Рис. 1. Общий вид прицела с дальномером Рысь-ЛД

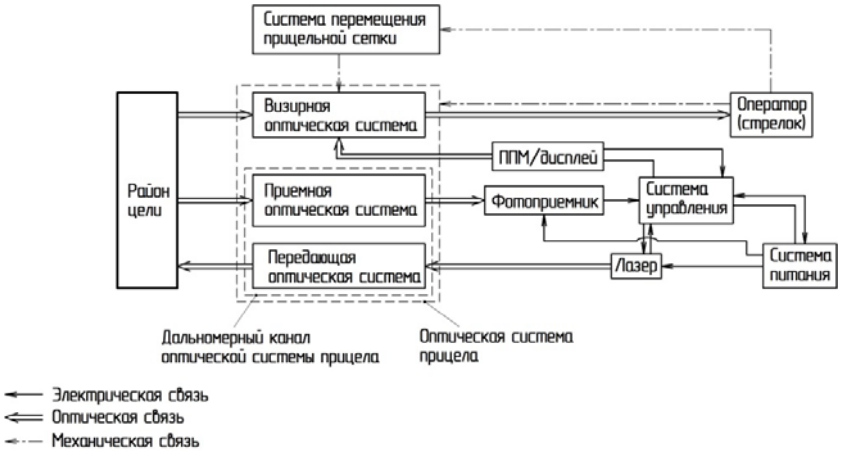


Рис. 2. Общая функциональная блок-схема прицела с дальномером

Стрелок через **визирный канал** осуществляет наблюдение за местностью. После обнаружения и предварительного наведения оружия на район цели, стрелок запускает работу **дальномерного канала** через систему управления.

Излучение от **лазера**, модулированное с заданной частотой следования импульсов, поступает на **передающий канал оптической системы**, который уменьшает расходимость лазерного пучка, направляя его на **район цели**.

Отразившись от цели, излучение поступает в **приемный канал**, который направляет его на чувствительную площадку фотоприемного устройства (далее – ФПУ). Также приемный канал содержит **светофильтр** (далее – СФ), который пропускает излучение только на длине волны

излучения лазера, уменьшая тем самым внешние шумы ФПУ для лучшей обработки принятого сигнала.

ФПУ преобразует принятый оптический сигнал в аналоговый электрический, который затем поступает в систему управления.

Система управления с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) преобразует аналоговый сигнал в цифровой, который подвергается дальнейшей обработке с извлечением из него информации о расстоянии до цели.

В зависимости от информации о расстоянии до цели система управления в случае:

– автоматического ввода поправок на дальность – перемещает **переменную прицельную марку** (далее – ППМ), изображение которой в поле зрения стрелка представляет собой светящуюся точку, которую стрелок наводит на цель для осуществления выстрела;

– полуавтоматического ввода поправок на дальность – отображает эту информацию через **дисплей**, которую стрелок наблюдает в поле зрения визирного оптического канала и осуществляет ввод поправок на дальность вручную с помощью системы перемещения прицельной сетки.

С помощью **системы перемещения прицельной сетки** также осуществляется выверка прицела после его установки на оружие.

Система питания обеспечивает подачу напряжения на лазер, ФПУ, систему управления и ППМ/дисплей. Стабилизация выходного напряжения осуществляется с помощью системы управления.

Для создания компактного прицела с дальномером рассматривается вариант объединения между собой визирного, передающего и приемного каналов оптической системы. При этом предполагается, что лазерное излучение, передаваемое на цель и отразившееся от нее, будет проходить и преобразовываться через объектив прицела, иными словами, объектив прицела будет выполнять функции приемопередающей антенны дальномера.

Предлагается два варианта оптической системы прицела.

В первом варианте (рис. 3) передающий канал такой системы представляет собой однокомпонентную коллимирующую систему (объектив прицела), которая уменьшает расходимость лазерного излучения и направляет его в район цели.

В данном случае расходимость лазерного пучка уменьшилась в 9 раз. Диаметр пятна на цели, находящейся на расстоянии 1 км, составил 1,7 м.

Достоинством данной системы является ее простота. К недостаткам системы можно отнести недостаточное уменьшение расходимости излучения.

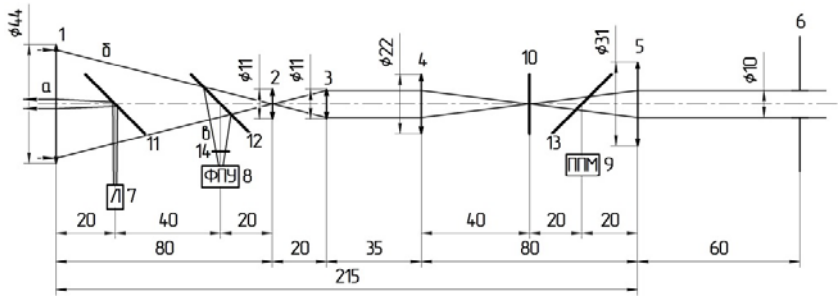


Рис. 3. Оптическая схема прицела с дальномером по первому варианту: *а* – коллимированное лазерное излучение; *б* – ход луча, параллельного оптической оси, через визирный канал; *в* – сфокусированное на ФПУ лазерное излучение, отраженное от цели; *1* – объектив (приемопередающая антенна дальномерного канала); *2* – коллектив, *3* – первая линза оборачивающей оптической системы (далее – ОБС); *4* – вторая линза ОБС; *5* – окуляр; *6* – выходной зрачок; *7* – лазер; *8* – ФПУ; *9* – ППМ; *10* – прицельная сетка; *11* – наклонная отражательная поверхность передающего канала; *12* – наклонная отражательная поверхность приемного канала; *13* – наклонная отражательная поверхность для отображения ППМ; 14 – светофильтр

Во втором варианте (рис. 4) передающий канал представляет собой расфокусированную телескопическую систему Галилея [4].

Для реализации данной схемы необходимо ввести дополнительную отрицательную линзу после лазера. В данном случае расходимость лазерного пучка уменьшилась в 48 раз. Диаметр пятна на цели, находящейся на расстоянии 1 км, составил 0,32 м.

Достоинством данной системы является ее малая расходимость по сравнению с первым вариантом схемы. К недостаткам можно отнести более сложную компоновку системы.

Приемный канал для обоих вариантов представляет собой однокомпонентную фокусирующую систему (объектив визирного канала), в фокальной плоскости которой располагается чувствительная площадка ФПУ. Приемный канал позволяет сфокусировать излучение, которое отразилось от цели, в пятно диаметром 8 мкм.

В качестве источника лазерного излучения рассматривался лазер, излучающий на длине волны 1,534 мкм. Характеристики лазера представлены в [5]. Применение подобного лазера в прицеле позволит измерить максимальное расстояние до 2 км [6].

В качестве ФПУ рассматривался InGaAs фотоприемник C30642 с максимальной чувствительностью на длине волны 1,55 мкм (близкой к длине волны излучения лазера), с фоточувствительной площадкой диаметром 2 мм.

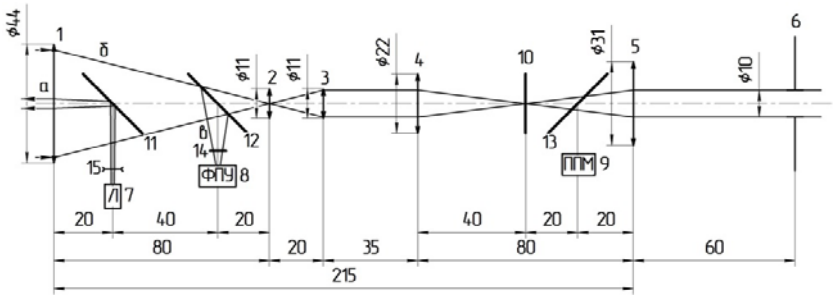


Рис. 4. Оптическая схема прицела с дальномером по второму варианту: *а* – коллимированное лазерное излучение; *б* – ход луча, параллельного оптической оси, через визирный канал; *в* – сфокусированное на ФПУ лазерное излучение, отраженное от цели; *1* – объектив (приемопередающая антенна дальномерного канала, первая линза расфокусированной телескопической системы Галилея); *2* – коллектив, *3* – первая линза ОБС; *4* – вторая линза ОБС; *5* – окуляр; *6* – выходной зрачок; *7* – лазер; *8* – ФПУ; *9* – ППМ; *10* – прицельная сетка; *11* – наклонная отражательная поверхность передающего канала; *12* – наклонная отражательная поверхность приемного канала; *13* – наклонная отражательная поверхность для отображения ППМ; *14* – светофильтр; *15* – вторая линза расфокусированной телескопической системы Галилея

В качестве ППМ предполагается применение знакосинтезирующего индикатора. Фокусные расстояния элементов визирной оптической системы представлены в таблице.

Фокусные расстояния элементов визирной оптической системы

Элемент системы	Объектив	Коллектив	Первая линза ОБС	Вторая линза ОБС	Окуляр
Заднее фокусное расстояние, мм.	80	20	20	40	40

В данной статье была предложена оптическая часть прицела с дальномером. Для компактности данного прицела было предложено объединить между собой визирный, передающий и приемный каналы.

Список литературы

1. Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век. Оптико-электронные системы и лазерная техника. – М. : Изд-во «Оружие и технологии», 2005. – Т. 11. – 720 с.

2. Nikon. Nikon Monarch L700. – URL: http://www.nikon.ru/ru_RU/product/sport-optics/riflescopes/laser-rangefinding/l700-2-5-0x40m-r4b

3./ Bushnell. Bushnell Yardage Pro. – URL: http://www.bushnell.com/hunting/ laser-rangefinders/yardage-pro-riflescope

4. *Заказнов, Н. П.* Теория оптических систем : Учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов / Н. П. Заказнов, С. И. Кирюшин, В. Н. Кузевич. – М., 1992. – 448 с. : ил.

5 KIGRE, INC. – MK-2 HEEP Microlaser Platform. – URL: http://www.kigre.com/products/mk2.html

6 Eyesafe erbium glass microlaser / S. Hamlin [et al] : Materials of conference LASE 2004, Solid State Lasers XIII: Technology and Devices. 5332 – 14, 2004.

УДК 535-47

А. С. Саушин, аспирант
Г. М. Михеев, д-р физ.-мат. наук, профессор
E-mail: 56-i@mail.ru
Институт механики УрО РАН, г. Ижевск

Датчик знака циркулярной поляризации в широком спектральном диапазоне

Поляризованное световое излучение находит широкое применение в науке и технике. Поляризационно-оптические методы позволяют решать задачи, не доступные для их решения традиционными способами (например, в геологии для поисков залежей нефти исследуется степень поляризации люминесцентного излучения от битуминозных пород после их облучения линейно поляризованным светом [1]). В данном контексте проблемы анализа поляризации света приобретают особую важность. Обычно анализ поляризации осуществляется при помощи устройств, содержащих фотодатчики и различные дорогостоящие оптические элементы, такие как поляризаторы и фазовые пластинки. Однако анализаторы поляризации (особенно анализаторы знака циркулярной поляризации) являются сложными оптическими устройствами. Определение знака циркулярной поляризации излучения (особенно импульсного излучения с малой частотой повторения) является трудоёмкой задачей. Поэтому актуальной задачей является разработка принципиально новых быстродействующих анализаторов лазерного излучения, не содержащих оптических элементов.

Попытки создать такой анализатор поляризации уже предпринимались [2–4], все они были основаны на использовании фотовольтаических эффектов, чувствительных к поляризационным характеристикам лазерного излучения. Одни эффекты чувствительны к знаку циркулярной по-

© Саушин А. С., Михеев Г. М., 2015
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-08-01031).

ляризации (например, циркулярный фотогальванический эффект), другие к ориентации эллипса поляризации (линейный фотогальванический эффект), это позволяет определять поляризацию непосредственно из анализа регистрируемого фотовольтаического отклика.

В работе [5] нами впервые было показано, что резистивные серебро-палладиевые плёнки также обладают способностью под воздействием импульсного лазерного излучения генерировать импульсы электрического напряжения, зависящие от знака циркулярной поляризации. Это делает их пригодными для создания датчиков знака циркулярной поляризации, и, следовательно, необходимы исследования фотовольтаических свойств серебро-палладиевых плёнок в широком спектральном диапазоне.

Такие плёнки хорошо известны и широко применяются в электронике в качестве пассивных электронных компонентов [6, 7]. Для проведения экспериментов были изготовлены плёнки из резистивной пасты ПР-50 по технологии толстоплёночных резисторов при температуре 878 К [8]. Размер плёнок составил 20×20 мм, а толщина 20 мкм. Плёнки имели пористую структуру с диаметром пор около 500 нм и содержали 80 % AgPd, 19 % PdO и 1 % Ag_2O [9]. Для регистрации фотовольтаического сигнала к плёнкам с противоположных сторон прикреплялись прямоугольные серебряные электроды, которые напрямую подключались ко входу быстродействующего осциллографа.

Эксперименты проводились следующим образом. Линейно поляризованное импульсное лазерное излучение проходило через четвертьволновую пластинку, а затем падало на исследуемую плёнку под углом 45° (рис. 1). Плёнка располагалась так, что прикреплённые к ней электроды были параллельны плоскости падения излучения. Длина волны λ излучения составляла 1064, 532, 355 и 266 нм. Возникающий в плёнке электрический сигнал регистрировался осциллографом. Вращение четвертьволновой пластинки позволяло варьировать поляризационные характеристики лазерного излучения. Таким образом, вращением четвертьволновой пластинки и регистрацией электрического сигнала на указанных длинах волн были получены зависимости коэффициента преобразования лазерной мощности в напряжение от угла поворота четвертьволновой пластинки (рис. 2). Все полученные зависимости могут быть описаны следующим выражением:

$$\eta = \eta_1 \sin(2\gamma) - \eta_2 \sin(4\gamma), \qquad (1)$$

где γ – угол поворота четвертьволновой пластины; η_1, η_2 – коэффициенты, зависящие от длины волны, которые отвечают за циркулярный и линейный вкрады в фотовольтаический сигнал, соответственно.

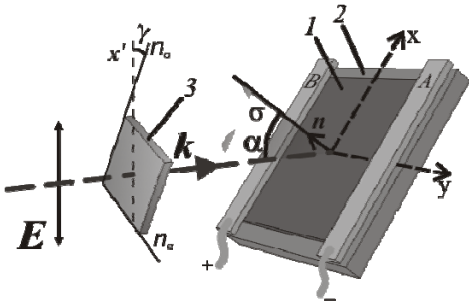


Рис. 1. Схема экспериментов: *1* – серебро-палладиевая плёнка; *2* – подложка; *3* – четвертьволновая пластинка; *A*, *B* – измерительные электроды; **n** – нормаль к поверхности; **k** – волновой вектор падающего излучения; σ – плоскость падения; α = 45° – угол падения; n_e – оптическая ось четвертьволновой пластинки ($n_e \perp n_o$); *x′* – вертикальная ось; **E** – вектор электрического поля; **E**, *x′*, *A*, *B* ∥ σ

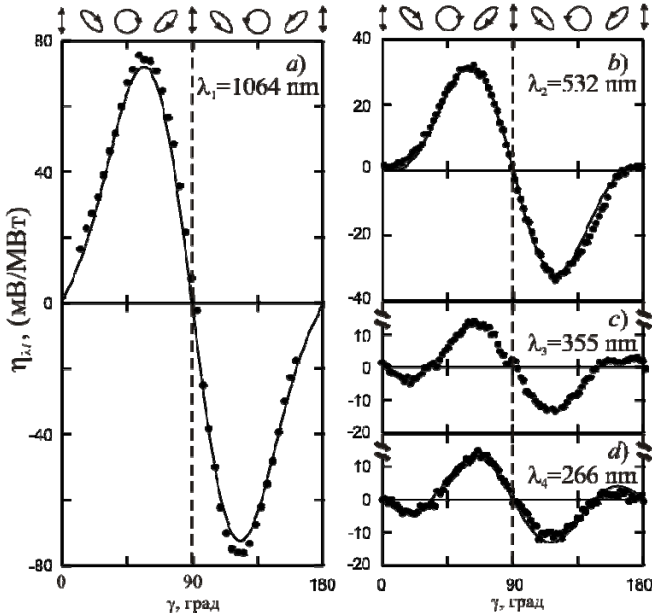


Рис. 2. Зависимости коэффициента преобразования импульсной лазерной мощности в импульсное электрическое напряжение от фазового угла γ четвертьволновой пластинки для длин волн λ_1 = 1064 (*a*), λ_2 = 532 (*b*), λ_3 = 355 (*c*) и λ_4 = 266 нм (*d*); точки – экспериментальные данные, сплошная кривая – аппроксимирующая. Верхние вставки – эллипсы поляризации, соответствующие различным фазовым углам γ

Значения коэффициентов указаны в таблице. Как видно из таблицы максимальный коэффициент преобразования соответствует максимальной длине волны 1064 нм. При уменьшении длины волны как циркулярный, так и линейный вклады в фототок ослабевают.

Циркулярный η_1 и линейный η_2 вклады в коэффициент преобразования лазерной мощности в фотоЭДС

λ, нм	η_1, мВ/МВт	η_2, мВ/МВт
1064	63,6	19,1
532	23,8	12,8
355	6,7	7,6
266	6,3	8,3

При этом ослабление происходит в разной степени, поскольку на длине волны 1064 нм циркулярный вклад превосходит линейный примерно в 3 раза, а в ультрафиолетовой области они становятся примерно равны, что выражается в существенном искажении синусоидальной зависимости, характерной для «чистого» циркулярного эффекта. В ультрафиолетовой области при одинаковом знаке поляризации, фотовольтаический сигнал может принимать как положительные, так и отрицательные значения, и полярность сигнала не может однозначно указывать направление вращения вектора напряжённости электрического поля. Из формулы (1) можно вычислить минимальную длину волны λ_{min} = 529 нм, для которой однозначное определение знака циркулярной поляризации ещё возможно. Таким образом, датчик знака циркулярной поляризации на основе серебро-палладиевых плёнок будет работоспособен в диапазоне длин волн от 529 до 1064 нм. Следует добавить, что нами получены экспериментальные данные, показывающие работоспособность датчика знака циркулярной поляризации в инфракрасной области до длины волны 3000 нм.

Таким образом, было показано, что зависящий от знака циркулярной поляризации фототок наблюдается в серебро-палладиевых плёнках в диапазоне длин волн от 266 до 3000 нм. Полученные результаты могут быть использованы для разработки и создания устройства для определения знака поляризации излучения лазера в диапазоне длин волн от 529 до 3000 нм и выше.

Список литературы

1. *Жеванов, Н. Д.* Применение поляризованного света. – М. : Наука, 1978. – 176 с.
2. *Михеев, Г. М.* Нанографитовый анализатор поляризации лазерного излучения / Г. М. Михеев, В. М. Стяпшин // Приборы и техника эксперимента. – 2012. – № 1. – С. 93-97.

3. Fast detector of the ellipticity of infrared and terahertz radiation based on HgTe quantum well structures / S. N. Danilov [at al] // J. Appl. Phys. – 2009. – Т. 105 – P. 013106-013112.

4. Быстродействующий измеритель поляризационных характеристик импульсного лазерного ИК и субмиллиметрового излучения / А. В. Адрианов [и др.] // Письма в ЖТФ. – 1988. – Т. 14. – № 14. – С. 1326-1329.

5. *Михеев Г. М.* Наблюдение циркулярного фотогальванического эффекта в серебро-палладиевых резистивных пленках / Г. М. Михеев, В. А. Александров, А. С. Саушин // Письма в ЖТФ. – 2011. – Т. 37. – № 12. – С. 16-24.

6. Wang S. F. Thermodynamic Modelling of Equilibrium Subsolidus Phase Relations in the Ag-Pd-O_2 System / S. F. Wang, W. Huebner // J. American Ceramic Society. – 1991. – Т. 74. № 6 – С. 1349-1353.

7. Silver-Palladium Thick-Film Conductors / S. F. Wang [at al] // J. American Ceramic Society. – 1994. Т. 77. – № 12 – С. 3051-3072.

8. Оптоэлектрический преобразователь : пат. 2365027 Рос. Федерация / Михеев Г. М. Зонов Р. Г., Александров В. А., Русских Л. М. ; Бюл. № 23 от 20.08.2009.

9. Влияние температуры вжигания на фазовый состав, фотовольтаический отклик и электрические свойства резистивных Ag/Pd пленок // Г. М. Михеев [и др.] // Физика твердого тела. – 2014. – Т. 56, № 11. – С. 2212-2218

УДК 681.785

В. П. Усольцев, канд. техн. наук, вед. инженер-электроник
Н. А. Девятов, аспирант
E-mail: scorp32@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Многолучевая диагностика жидких сред с измерением косвенной оптической плотности

Диагностика жидких сред представляет актуальную научно-техническую задачу и имеет теоретическое и прикладное значение для сохранения положительной экологической ситуации. Трудности разработки методики, технологии, создания аппаратуры обусловлены сложностью состава контролируемых сред, часто содержащих сгустки масел, нефти, отходов нефтепереработки и др., возникающих в результате аварийных выбросов. Подобный выброс производит изменение оптической плотности анализируемой среды, причем варианты этого изменения достаточно многообразны. Для своевременного обнаружения данных выбросов, предотвращения попадания их в природные водоемы используются раз-

© Усольцев В. П., Девятов Н. А., 2015

личные методы и устройства. Одним из основных требований к таким устройствам является необходимость осуществлять постоянный, непрерывный и эффективный контроль с высокой достоверностью, доступностью и наглядностью представления результатов контроля.

На основании системного анализа метода контроля жидких сред, показано, что измерение оптической плотности контролируемой среды позволяет обнаружить аварийный выброс при априорных сведениях о характере выброса. Одним из методов косвенного измерения данной характеристики является турбидиметрический метод, основанный на измерении динамики изменения интенсивности рассеянных световых потоков при воздействии лазерного излучения на поток жидкости [4].

Проведены теоретические и экспериментальные исследования по исследованию математических моделей, описывающих процессы взаимодействия оптического излучения в неоднородных рассеивающих средах [7]. Исследования заключались в поиске теоретической обоснованности методов исследования сред, проведении вычислительных экспериментов. Результаты исследований позволили произвести выбор методов анализа неоднородных жидких сред с использованием лазерного воздействия на объекты исследования [8]. В программной среде *MathCAD* для исследования мутных жидкостных сред была написана программа по расчету диаграммы рассеяния на сферической частице, используя теорию рассеяния Ми. На основании результатов теоретических исследований и выполненных экспериментов разработана установка, позволяющая исследовать динамические процессы в неоднородных жидких средах на примере водной среды с загрязнениями.

При разработке методики как алгоритма проведения целенаправленных действий в процессе анализа, направленных на выявление отличий между реально существующими и требуемыми свойствами неоднородных оптических сред, были заложены следующие требования к методике, как к конкретной процедуре: реалистичность, воспроизводимость, внятность, соответствие целям и задачам планируемого действия, обоснованность, результативность, четкая структурно-логическая схема.

В соответствии с IEEE Std 829-1983 разработанная методика диагностики жидких сред основывается на тестовых процедурах с конкретными входными данными, начальными условиями и ожидаемыми результатами, разработанными для конкретной цели, такой как тестирование отдельной оптической среды или верификация соответствия оптической среды определенным требованиям. Тестовые процедуры проверяют различные аспекты отдельных характеристик оптических сред и адекватное выполнение требований к аппаратуре контроля.

Существование корреляционных связей между оптической плотностью жидких сред и другими параметрами, характеризующими виды и содержание загрязнений, можно наглядно продемонстрировать при изменении качественного состава сточных вод. Величина поглощения света в выделенной видимой области спектра является объективным косвенным показателем суммарного содержания загрязнений в сбрасываемых сточных водах. Для больших станций очистки предлагаемый метод очень перспективен, в этом случае оптическая плотность будет пропорционально связана с видом и содержанием загрязнений.

Для повышения эффективности разработанной методики, выполнения заложенных требований, повышения достоверности, точности, чувствительности контрольной аппаратуры рекомендована многолучевая диагностика жидких сред с косвенным измерением оптической плотности, применение пары источник излучения – приемник излучения с длинами волн, подобранными в соответствии со спектрами поглощения тестируемых оптических сред.

В ходе экспериментальных исследований, производимых на ряде тестовых загрязняющих веществ, была показана работоспособность предложенной методики контроля оптической плотности жидких сред и возможность ее практической реализации. Для исследованных неоднородностей была составлена база данных [5]. На базе турбидиметрического метода разработана оптоэлектронная установка по контролю изменений оптической плотности жидких сред [1], относящаяся к классу автоматических средств контроля оптической плотности жидких и газообразных сред. Установка для устранения аварийного выброса [2] опробована на загрязнениях нефтью и маслом, имеются результаты испытаний на границах сред воды, воздуха и загрязнителей. При проведении тестовых процедур за «базовую» точку отсчета принята воздушная оптическая среда. Полученные результаты позволяют прогнозировать возможные изменения оптической плотности смеси жидких сред «вода – подсолнечное масло», «вода – нефть», «воздух – нефть», «воздух – вода», «воздух – подсолнечное масло» и выбрать обоснованные режимы работы контрольной аппаратуры.

Необходимо производить фиксацию загрязнения контролируемой среды несколькими видами загрязнителей, что может быть достигнуто установкой нескольких оптоэлектронных датчиков, работающих в различных оптических диапазонах. Предлагается использовать новую модель многолучевого устройства, содержащую несколько отводных каналов с оптоэлектронными датчиками, соответствующими по оптическим характеристикам определенным видам загрязняющих веществ. Работоспособность предложенного устройства была проверена на эксперимен-

тальном стенде. В качестве оптоэлектронного датчика использовалась оптопара, состоящая из лазерного диода с длиной волны 0,632 мкм, и фотодиода типа КДФ110А [6].

В результате исследований разработаны и апробированы макеты лабораторных установок для контроля изменений оптической плотности неоднородных сред, а также предложены модели прохождения оптического излучения через водную загрязненную среду [3]. Представлены схемы расположения отражающей оптики в трубе, позволяющие увеличить длину пути лучей в анализируемой жидкости, что приводит к повышению чувствительности датчиков.

Проведенная работа позволяет сделать следующие выводы:

1. Предложенные принципы моделирования экспериментально проверены на созданной лабораторной установке и показали по вероятностным критериям сходимость экспериментальных и теоретических результатов.

2. Разработанный алгоритм работы, рабочие эталоны и критерии оценки аварийных выбросов перспективны для создания и усовершенствования лабораторной установки по контролю изменений оптической плотности жидких сред.

3. Проведенные экспериментальные исследования показали эффективность разработанной методики автоматического обнаружения различных видов загрязнителей и изменения оптической плотности жидкости в условиях реального времени в динамическом режиме.

4. Разработки устройства по контролю изменений оптической плотности жидких сред на базе нескольких оптоэлектронных датчиков существенно повышает эффективность обнаружения различных видов загрязнений.

5. Проведенные на модернизированном устройстве эксперименты показали положительные результаты в обнаружении различных типов загрязнений.

6. Разработанная и экспериментально опробованная методика тестирования неоднородных оптических сред на лабораторной установке по контролю изменений оптической плотности водных сред позволяет прогнозировать динамику изменений и трансформации свойств оптических сред.

Практическая ценность данной работы заключается в разработке методики, технологии и системы автоматической диагностики жидких сред, использование разработанных методик и решений на промышленных предприятиях, являющихся источниками загрязнения сточных вод, и системах водоснабжения. Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов подтверждается практическим использованием созданных установок, методик и алгоритмов, хорошей согласованностью экспериментальных результатов с теоретическими расчетами.

Список литературы

1. Разработка стенда для тестирования установки контроля загрязнения воды оптическими методами / В. А. Алексеев [и др.] // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве : тр. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. (16–17 мая 2012 г., г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). – Ч. 3. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2012. – С. 295–300.
2. Пат. № 105456 Российская Федерация, МПК[7]: G01N 15/06. Устройство для устранения аварийного выброса / Алексеев В. А., Козаченко Е. М., Юран С. И., Перминов А. С. ; заявл. № 2011101251/28 (001555) от 12.01.2011 ; опубл. 10.06.2011 ; Бюл. № 16.
3. *Алексеев, В. А.* Контроль оптической плотности аварийных выбросов сточных вод / В. А. Алексеев, Е. М. Козаченко, С. И. Юран // Лазеры. Измерения. Информация : тр. Междунар. конф. (5–7 июня 2012 г., Санкт-Петербург, СПбГПУ). – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – С. 73–74.
4. *Алексеев, В. А.* Методика тестирования неоднородных жидких оптических сред / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Приборостроение в XXI веке – 2013. Интеграция науки, образования и производства : сб. материалов IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 13–15 нояб. 2013 г.), – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 349–353.
5. *Алексеев, В. А.* Методика формирования базы данных кривых измерения оптической плотности неоднородных жидких сред / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Приборостроение в XX1 веке – 2013. Интеграция науки, образования и производства : сб. материалов 1X Всерос науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 13–15 нояб. 2013 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 354–357.
6. *Девятов, Н. А.* Выбор схемы оптического преобразователя для контроля залповых сбросов в сточные воды предприятия / Н. А. Девятов, В. П. Усольцев. – Ижевск, 2012.
7. *Алексеев, В. А.* Обобщенная вероятностная математическая модель поступления сточных вод на очистные сооружения при залповых сбросах / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1 (23) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014. – С. 108-113.
8. *Алексеев, В. А.* Идентификация аварийных выбросов в системах фильтрации сточных вод в явно выраженных условиях многомерности и неопределенности / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2(22) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – С. 173–177.

УДК 502.656

В. П. Усольцев [1], канд. техн. наук, вед. инженер-электроник
Т. Ю. Пономарева [2], студентка
E-mail: [1] vpusoltcev@mail.ru, [2] tatkapona@yandex.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Достоверность анализа сточных вод промышленных предприятий

В XXI веке основной причиной загрязнения природной воды являются выбросы отходов промышленного и бытового назначения. Это физические, химические, биологические, вещества, которые попадают в воду и тем самым вызывают ухудшение ее качества.

Сегодня складывается ситуация, что практически около 70 % населения нашей планеты вынуждено использовать некачественную воду. Проблема эта в основном касается быстроразвивающихся стран. Люди, которые проживают в сельской местности, независимо от страны и региона, в 90 % случаев используют в пищу воду очень низкого качества, по сути непригодную для употребления. Именно по этой причине даже в современном мире нередки случаи вспышек малярии, холеры и других инфекционных заболеваний. Как показывают исследования, большинство всех случаев инфекции вызваны употреблением в пищу и для купания некачественной воды [1].

В связи с этим актуальной экологической задачей остаётся повышение достоверности анализа сточных вод, вероятности правильного определения концентрации загрязнений.

Анализ сточных вод проводят различного рода приборами, работа которых основана на оптических, химических, электрохимических и других эффектах. Анализ сточных вод в реальном масштабе времени прогрессивен с применением оптических методов контроля из-за большой перспективы и в связи с развитием современных средств оптоэлектроники и лазерных технологий, поэтому наибольшее распространение в лабораториях водоподготовки получили оптоэлектронные приборы

Для измерения изменения интенсивности потока световой энергии, прошедшего через жидкую среду, использована автоматизированная система с направлением излучения лазера в прозрачное входное окно в сточной трубе и через поток воды попадающего на фотоприемник, находящийся за вторым прозрачным окном в трубе. Электрический сигнал с фотоприемника преобразуется в цифровой сигнал, который регистри-

© Усольцев В. П., Пономарева Т. Ю., 2015

руется компьютером. Производится обработка цифрового сигнала в компьютере и по результатам обработки оцениваются концентрации загрязнений, при превышении предельно допустимых концентраций принимаются своевременные меры [2].

В ходе проведенных поисковых научно-исследовательских работ по созданию аппаратуры для контроля динамики изменения интенсивности светового потока, прошедшего через жидкую среду, были разработаны макет прибора для обнаружения неоднородности жидкостей и общий алгоритм функционирования системы. Достоверность полученных при помощи данного стенда результатов с оценкой по вероятностным критериям совпадает с теоретическими расчетами, учитывая, что достоверность контроля есть мера определенности результатов контроля. Из-за того, что контролю подвергается только часть параметров объекта исследования с заданной периодичностью, получаемая в результате контроля информация содержит неопределенность, которая зависит от точности измерений и объема контролируемых параметров. Решение о техническом состоянии объекта исследования принимается на основе сравнения результатов анализа с предельно допустимыми сбросами [3].

При контроле каждого параметра технического состояния сложной системы, в данном случае сточных вод, возможны следующие независимые и единственно возможные события: годный параметр оценивается системой контроля как годный; годный параметр оценивается системой контроля как негодный; негодный параметр оценивается системой контроля как негодный; негодный параметр оценивается системой контроля как годный.

Под годным понимается параметр, находящийся в пределах установленного допуска, под негодным – параметр, вышедший за пределы допуска [4]. Поэтому для проверки достоверности каждого события используют численные оценки: абсолютные, относительные и т. д. И на основе полученных результатов делается вывод о достоверности анализа каждого из событий.

Существуют различные методы определения загрязненности водоемов, их автоматического обнаружения и контроля аварийных выбросов в сточные воды. Недостоверный анализ порождает развитие различных казусов как в технической, так и в биологической сферах. Правильно выбранные методы позволяют получить достоверные результаты опытов, совпадающие с теоретическими расчетами: вероятность отсутствия загрязнения сточных вод, превышающего ПДС за интервал времени между соседними анализами; вероятность наличия загрязнения сточных вод, превышающего ПДС за интервал времени между соседними анализами; вероятности признать неудовлетворительным результаты анализа,

не превышающие ПДС, при этом возможны необоснованные экологические санкции; вероятность принять отрицательные результаты анализа за удовлетворительные, сверхнормативные сбросы признать в качестве нормативных, что сопровождается экологическим риском, безвозмездным нанесением вреда окружающей среде. При анализе сточных вод выбран метод, проведены исследования, предложена методика анализа достоверности каждого события с учетом интенсивности потока появления загрязнений сточных вод, превышающих ПДС [5].

Таким образом, проведенные исследования показали, что при проектировании систем анализа аварийных выбросов для повышения достоверности анализа сточных вод с помощью разработанных модели и алгоритма [6] необходимо рассчитывать время между анализами и вероятности пропуска аварийных загрязнений для конкретного предприятия, так как частота их появления определяется реальным временем работы оборудования. Полученные результаты оригинальны, универсальны и актуальны.

Список литературы

1. Сточные воды – вода загрязнённая бытовыми отбросами. – URL: http://www.watermap.ru/articles/stochnye-vody

2. *Алексеев, В. А*. Идентификация аварийных выбросов в системах фильтрации сточных вод в явно выраженных условиях многомерности и неопределенности / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2 (22) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – С. 173–177.

3. *Алексеев, В. А*. Обобщенная вероятностная математическая модель поступления сточных вод на очистные сооружения при залповых сбросах / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1(23) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014. – С.108–113.

4. Достоверность контроля. – URL: http://abc.vvsu.ru/Books/Teh_diag/page0016.asp

5. *Алексеев, В. А*. Методика формирования базы данных кривых измерения оптической плотности неоднородных жидких сред / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Приборостроение в XX1 веке – 2013. Интеграция науки, образования и производства : сб. материалов IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 13–15 нояб. 2013 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 354–357.

6. *Алексеев, В. А*. Обобщенная вероятностная математическая модель поступления сточных вод на очистные сооружения при залповых сбросах / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1 (23) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014. – С. 108–113.

УДК 745.53

А. В. Усольцева [1], дизайнер, нач. креативного отдела
В. П. Усольцев [2], канд. техн. наук, вед. инженер-электроник
E-mail: [1] ajieksa_oo@mail.ru, [2] vpusoltcev@mail.ru
[1] ООО «Премьер», г. Ижевск
[2] ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Особенности лазерного гравирования изделий из кожи

С каменного века люди использовали в качестве одежды шкуры и меха животных. Уже в то время люди понимали, что предметы из кожи можно украшать. Они украшали одежду, предметы быта, оружие. Издавна художественная обработка кожи существует в Прибалтике, Средней Азии, Западной Украине, Молдавии. Художественные кожаные изделия широко используются в украшениях национальных костюмов. В отделке кожаных изделий широко применяется национальные орнаменты. Развивая народные традиции, современные мастера выпускают изделия, пользующиеся широким спросом. Оригинальные рисунки часто разрабатываются крупными художниками [1].

В настоящее время ручное гравирование заменяется оборудованием, отличающимся высокой точностью и разрешением [2]. На этом оборудовании выполняются работы по гравированию на коже изображений любой сложности, в том числе фотоизображений и штрих-кодов. Изображение по желанию заказчика может быть отсканировано или создано дизайнером, затем оно за несколько минут наносится лазером на изделие и отличается высокой декоративной привлекательностью [3]. Лазерное гравирование на коже может наноситься как на одно изделие, так и на целую партию, причём эти изделия будут совершенно идентичны. Лазерное гравирование представляет собой современную технологию нанесения изображения с использованием лазерного луча. Оно имеет привлекательный вид, отличное качество и стойкость получаемых изображений. С его помощью наносятся узоры, логотипы, рисунки, различные поздравления, изготавливаются брелоки в гостиницы, наносится информация на кошельки, одежду, галантерейные изделия, сумки [4].

Лазерное гравирование на коже выглядит естественно, натурально, благородно и эффектно. Приобретение гравируемым рисунком цветового оттенка и правильного рельефа зависит от качества кожи изделия и режимов технологического процесса. Положительным свойством изображения является то, что его трудно повредить или удалить

© Усольцева А. В., Усольцев В. П., 2015

Экономичность, оперативность и широкие возможности превратили лазерное гравирование в одно из самых востребованных технологий обработки художественно-промышленных изделий из кожи. Изделия в результате лазерного гравирования долговечны, универсальны и устойчивы к любым воздействиям – химическому, биологическому и климатическому. Изображение не выцветает и не истирается, не тускнеет и не деформируется [5].

Лазерное гравирование – универсальный метод бесконтактного гравирования на любых поверхностях и материалах, позволяющий наносить плоские и объемные (3D) изображения на металлы, пластик, полистирол, стекло, кожу, дерево, бумагу и т. д. Лазерный луч снимает тонкий верхний слой материала изделия, благодаря высокотемпературному микроплавлению и испарению структуры материала. Лазер способен наносить на любую поверхность сложнейшую картинку, создавая узоры и надписи нужного содержания и высочайшего качества.

Процесс нанесения гравировки осуществляют два вида лазерных станков – твердотельные и газовые граверы. При этом твердотельные станки (ND:YAG-лазер, генерирующий на длине волны 1,06 мкм) могут вести чаще всего лазерное гравирование на металле, а газовые установки (CO_2-углекислотный лазер (10,6 мкм) предназначены в основном для обработки неметаллических материалов, гравированию на коже, стекле, дереве, пластике, акриле, древесно-стружечной плите и других материалах [6].

Для оптимального задания режимов работы лазерной установки при гравировании для создания эффектных промышленно-художественных образцов изделий из кожи и эффективного учета ее особенностей необходимо с помощью разработанной оригинальной обобщенной проблемно ориентированной методики рассчитывать вероятностно-временные характеристики распределения неровностей и неоднородностей поверхности микроструктуры кожи для конкретных материалов, т. к. они определяют режимы работы и реальные результаты при нанесении изображения. Это позволяет повысить качество гравирования и эстетические свойства художественных товаров, снизить вероятность и последствия появления брака и порчи изделий. Следует отметить, что разработанный подход носит универсальный характер, и может быть применен в других областях науки и техники.

Результаты проведенных исследований показали, что на основании анализа особенностей микроструктуры различных видов кожи выбор научно обоснованных технических требований и технологических режимов обеспечивает решение важных прикладных задач в области отработки и внедрения технологии лазерного гравирования художественно – промышленных изделий из кожи.

Список литературы

1. *Раяцкас, В. Л.* Технология изделий из кожи : учебник / В. Л. Раяцкас, В. Л. Нестеров. – Ч.2. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 320 с.
2. *Черных, М. М.* Восприятие системного рисунка фактуры / М. М. Черных, В. В. Сергеева // Дизайн. Материалы. Технология. – 2008. – № 4 (7). – С. 9–12.
3. *Бастов, Г. В.* Художественное проектирование изделий из кожи. – М. : Легпромбытиздат, 1995. – 208 с.
4. *Веденов, А. А.* Физические процессы при лазерной обработке материалов / А. А. Веденов, Г. Г. Гладуш. – М. : Энергоатомиздат, 1985.
5. Конструирование изделий из кожи : учеб. / Ю. П. Зыбин [и др.]. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 264 с.
6. *Харанжевский, Е. В.* Физика лазеров, лазерные технологии и методы математического моделирования лазерного воздействия на вещество / Е. В. Харанжевский, М. Д. Кривилев. – Ижевск : Изд-во «Удм. гос. ун-т, 2011.

УДК 620.179

В. Л. Чураков [1], канд. техн. наук, нач. бюро в отделе теоретических исследований конструкторско-технологического центра
Е. Н. Зонова [2], специалист
E-mail: [2] kafedra@istu.ru
[1] ОАО «Концерн «Калашников», г. Ижевск
[2] ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование переходного процесса полупроводниковых лазеров при импульсной накачке электрическим током

Одной из важных задач в современном производстве стоит задача измерения координат изделия с высокой скоростью, точностью и бесконтактным методом. Использование лазеров в качестве дальномеров – давно решенная задача, но для контроля геометрических размеров изделий в промышленности точность таких дальномеров не достаточна. Первоначальная цель эксперимента – это измерение толщин стенок прозрачных изделий для контроля их качества (бутылок, кварцевых трубок), диапазон измерения от 1,0 до 8,00 мм (рис. 1).

Сложность задачи:

1. Грани стеклянных изделий не параллельны друг другу, поэтому используем диффузное отражение сигнала, т. к. мощность отраженного излучения в пределах 10 градусов объемного угла определяется шерохо-

© Чураков В. Л., Зонова Е. Н., 2015

ватостью поверхности и не зависит от угла наклона отражающих поверхностей относительно друг друга.

2. Точность измерения 30 мкм, излучение проходит это расстояние за 100 фемтосекунд, поэтому оптическую систему (конденсор) выбираем с минимальной аберрацией разности хода лучей, а электронную схему рассчитываем на точность 1 фемтосекунда.

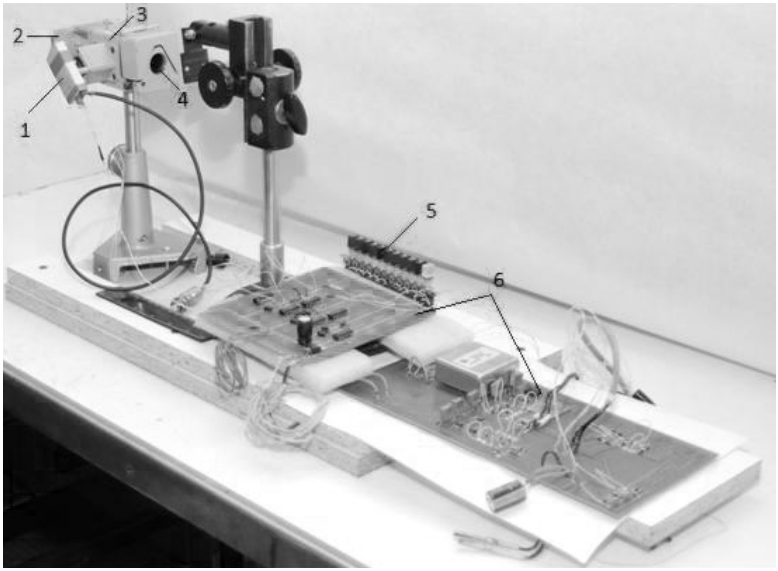


Рис. 1. Внешний вид макета лазерного измерителя толщины плоского стекла: *1* – лазерный модуль ЛПМ – 0,8–250 (λ = 960 нм); *2* – фотоприемник; *3* – корпус трехлинзового конденсора; *4* – бленда; *5* – система переключения режима работы измерительной платы по переднему фронту; *6* – измерительная плата

На рис. 2 схематично изображена схема устройства, посредством которого реализован способ измерения толщины прозрачных объектов.

Устройство содержит полупроводниковый лазер *1*, излучение которого, отразившись от зеркала *2*, попадает на объект измерения – стеклянную пластину *3*. Диффузное отраженное излучения от этой пластины *3* «собирается» конденсором *4* и фокусируется на чувствительную площадку фотодиода *5*. Сигнал с фотодиода через схемы совпадения *6* и *7* соединяется с генератором *8*, на другие входы схем совпадения заведены выходы блока управления *9*. Выход генератора *8* заведён на вход лазера *1* и через схему совпадения *10* – на счётный вход счётчика *11*, на второй вход схемы совпадения и вход установки в «0» счётчика *11* заве-

дены соответствующие выходы блока управления *9*. Выход переполнения счётчика *11* соединён с входом «сброса» триггера *12*, а его установочный вход соединён с выходом блока управления *9*. Единичный выход триггера *12* через схему совпадения *13* управляет подключением к счётному входу счётчика результата *14* выход генератора стабильной частоты *15*. Вход установки в «0» и вход *Reverse* счётчика результата *14* соединены с выходами блока управления *9*. Выходной код счётчика результата *14* есть выход всего устройства.

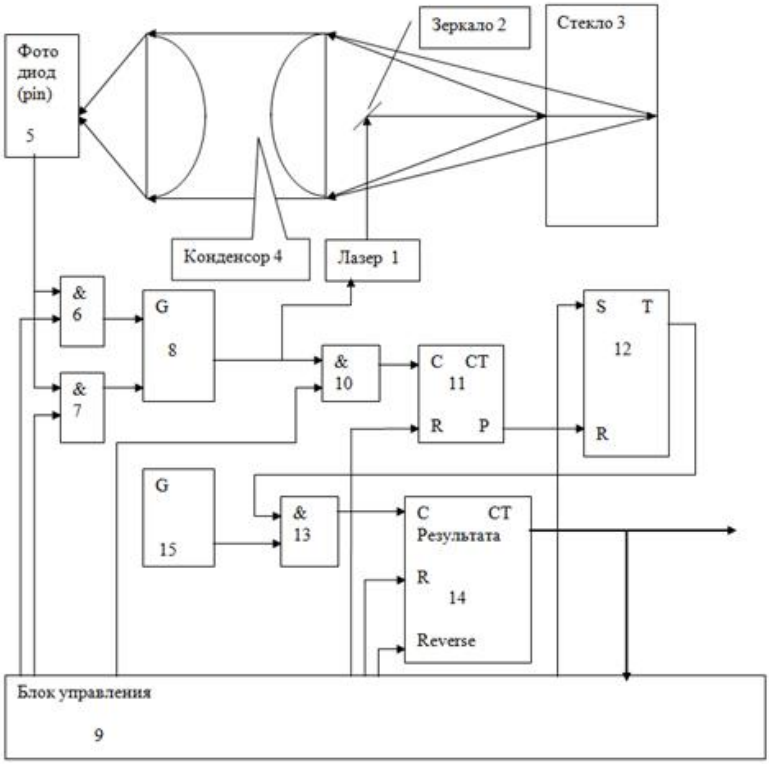


Рис. 2. Схема для измерения толщины прозрачных объектов

Из временной диаграммы процесса измерений (рис. 3) следует, что при увеличении толщины пластинки разность задержек фронта нарастания и фронта спада сигнала с фотоприемника должна увеличиваться [2].

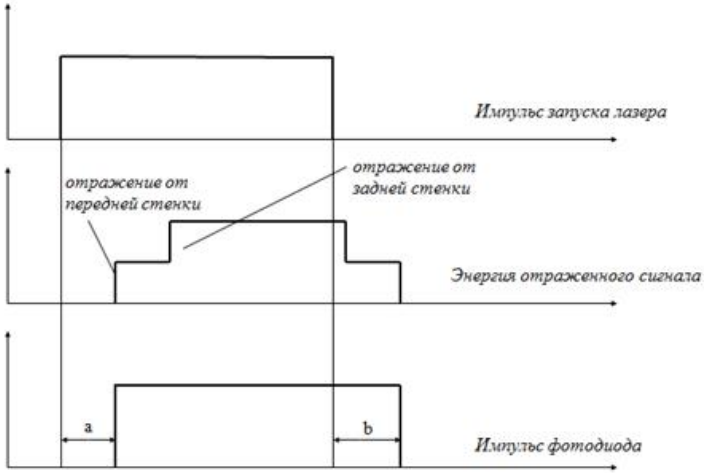


Рис. 3. Временная диаграмма

Данное предположение построено на основе теории Звелто, Алферова (рис. 4) и др., утверждающей, что при включении тока накачки нарастание излучения лазера происходит постепенно [3].

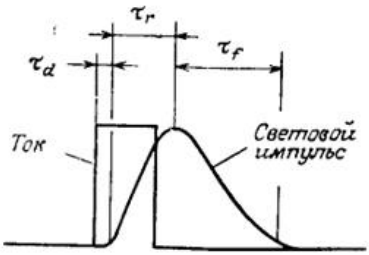


Рис. 4. Временная форма импульса, излучаемого полупроводниковым лазером при возбуждении прямоугольным импульсом тока

Однако измерения показали следующий результат (рис. 5). Измерения повторялись для каждой пластинки несколько раз при условии сохранения параметров эксперимента – температура окружающей среды, влажность. В результате при монотонном нарастании толщины стеклянных пластинок задержки обоих фронтов изменяются ступенчато и строго повторяемо от эксперимента к эксперименту.

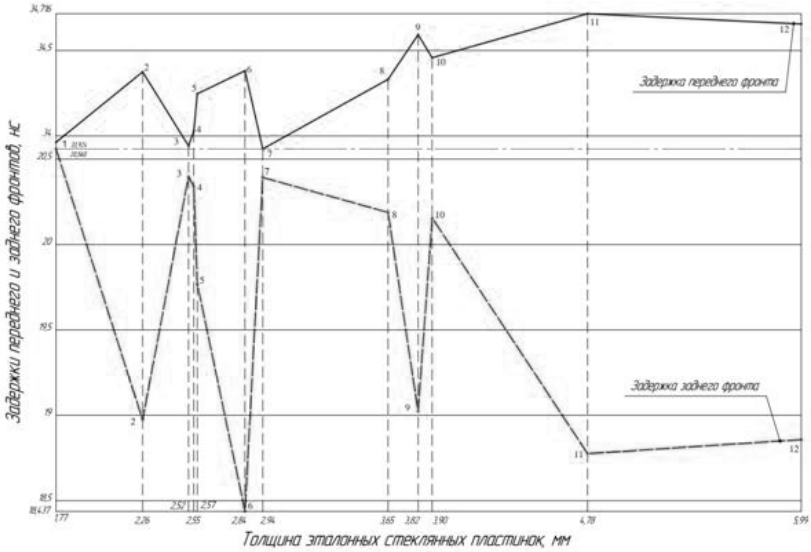


Рис. 5. Задержки обоих фронтов в зависимости от толщины стеклянных пластинок

Такой результат измерений попытались объяснить результатом теоретического исследования Грибковского (рис. 6). Однако при ударном характере возбуждения излучения полупроводникового лазера невозможно ожидать повторяемости результатов измерений. По гипотезе Грибковского времена задержек обоих фронтов должны носить хаотичный характер [4].

Излучение лазера в моменты коммутации сигнала накачки имеет импульсный и когерентный характер (рис. 7), что возможно объяснить «дефектами» энергетических уровней кристалла арсенида галлия (рис. 9).

Активная область представляет собой тонкий слой GaAs (1–0,3 мкм) (рис. 8). Ширина запрещенной зоны в GaAs (~1,5 эВ) значительно меньше, чем ширина запрещенной зоны в Al + GaAs (~1,8 эВ). Поэтому концентрация электронов и дырок в активном слое возрастает, а значит, увеличивается и усиление. Лазерный пучок с частотой почти не поглощается в Al + GaAs и не испытывают там сильного поглощения. Получается пучок эллиптического сечения (~1 мкм × 5 мкм).

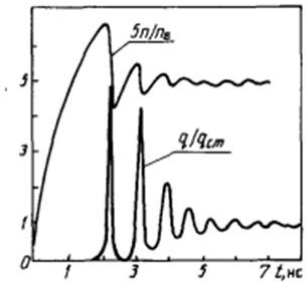


Рис. 6. Переходный процесс установления стационарного режима генерации

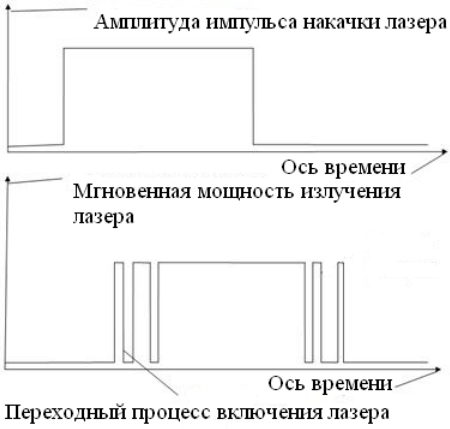


Рис. 7. Излучение лазера в моменты коммутации сигнала накачки

Принцип действия полупроводникового лазера можно рассмотреть с помощью рис. 9, на котором показаны валентная зона полупроводника, зона проводимости и ширина запрещенной зоны. Валентная зона полностью заполнена электронами, в то время как зона проводимости будет пуста. Предположим, что электроны переведены из валентной зоны в зону проводимости. Внутри этой зоны электроны за очень короткое время (~10^{-13} с) перейдут на ее самый нижний уровень, так что верхушка валентной зоны будет заполнена «дырками». Отсюда следует, что между валентной зоной и зоной проводимости возникает инверсия населенностей, что приведет к генерации [3].

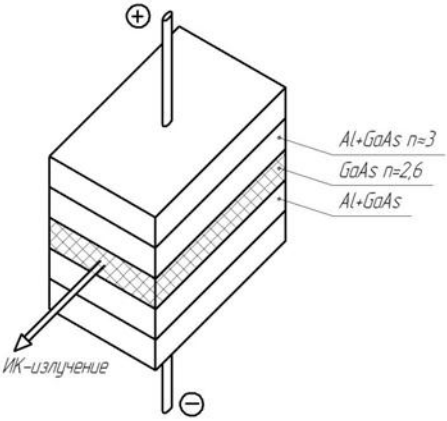


Рис. 8. Фрагмент полупроводникового лазера

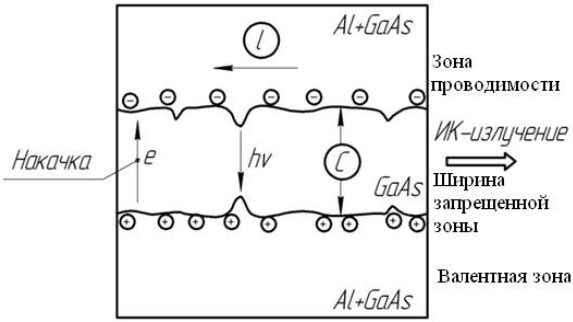


Рис. 9. Гетероструктура полупроводникового лазера

Этот вывод подтверждается исследованием еще двух лазеров при использовании тех же стеклянных пластинок (рис. 10, 11).

Предлагаемое использование открытого свойства: волоконно-оптический гироскоп, томография в сильно рассеивающей среде, измерение толщин стеклотары, измерение параметров внешней баллистики снаряда.

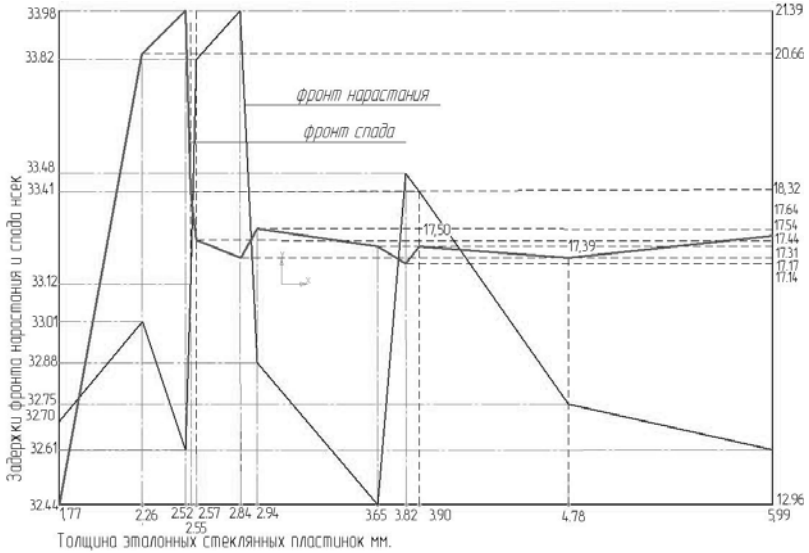


Рис. 10. Задержки обоих фронтов в зависимости от толщины стеклянных пластинок

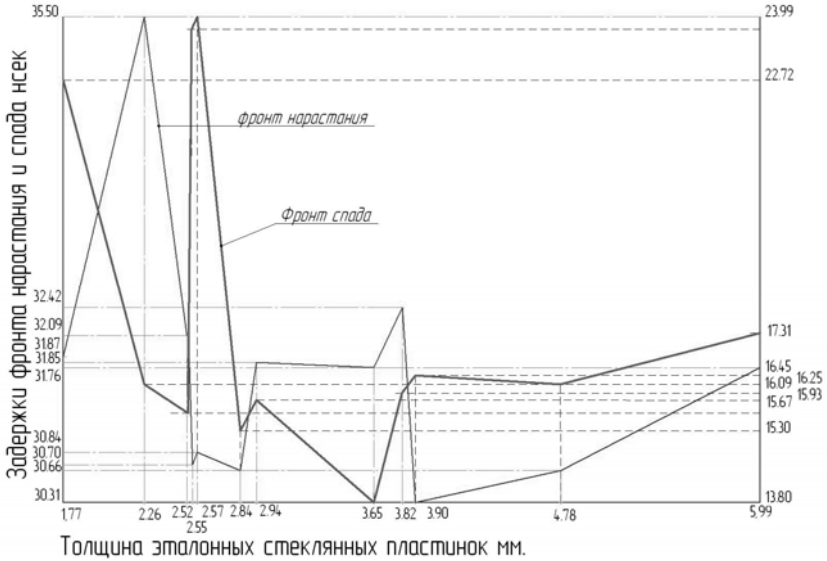


Рис. 11. Задержки обоих фронтов в зависимости от толщины стеклянных пластинок

Список литературы

1. *Чураков, В. Л.* Формирование прерывающегося излучения полупроводникового лазера в момент включения и выключения электрического тока накачки / В. Л. Чураков, В. В. Бесогонов // сб. материалов IX Всерос. науч. техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 13–15 нояб. 2013 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – 440 с. – С. 393–398.

2. Оптический способ измерения толщины прозрачных объектов : пат. № 2414680 / Чураков В. Л. ; заявл. № 2009147226/28 ; дата приоритета 18.12.2009.

3. *Звелто, О.* Принципы лазеров / пер. с англ. ; под ред. Т.А. Шмаонова. – М. : Мир, 1990.

4. *Грибковский, В. П.* Полупроводниковые лазеры. – Минск : Изд-во «Университетское», 1988.

УДК 620.179+616-07

В. Л. Чураков [1], канд. техн. наук, нач. бюро новых технологий, научно-исследовательский отдел конструкторско-технологического центра
Л. М. Матвеева [2], специалист
E-mail: [2] Russia.Standart@mail.ru
[1] ОАО «Концерн «Калашников», г. Ижевск
[2] ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Применение импульсного лазера для томографии и контроля изделий

1. Томография

Томографией называется любой метод построения виртуальных трехмерных моделей внутренней структуры реальных объектов. Такие модели содержат информацию о пространственных распределениях определенных физических параметров и широко используются в настоящее время в медицине, дефектоскопии, при моделировании разных физических и технологических процессов. С помощью томографов решаются задачи ранней диагностики наиболее опасных заболеваний, обеспечивается самый надежный контроль качества производимых изделий. Рассмотрим несколько видов томографии.

МРТ – магнитно-резонансная томография

Основана на явлении магнитного свойства атомов. У каждого атома возникает магнитный момент. С помощью данной томографии определяется количество атомов водорода в органах, при этом образуется контур.

© Чураков В. Л., Матвеева Л. М., 2015

Преимущества:

– можно определить химический состав ткани, но он не позволяет определить такой важный элемент, как кислород;

– высокая чувствительность в изображении мягких тканей. Можно исследовать мозг. С помощью данного метода можно выявлять такие болезни, например, как склероз и даунизм по отсутствию водорода в мертвых сгустках.

Недостатки:

– любое включение металла в теле приводит к неправильному результату (например, пломба в зубе);

– необходимо проводить исследования через небольшие расстояния, что занимает очень много времени;

– плохо регистрирует подвижные органы;

– большое потребление энергии;

– дорогое оборудование [1].

Рентген

Преимущества:

– регистрирует подвижные органы (можно определить порок сердца);

– четкие грани органов.

Недостатки:

– происходит ионизация клеток. Противопоказано беременным.

УЗИ

Механическое движение молекул вызывает отражение волн от неровностей, происходит локализация органов. По частоте можно выявить болезнь. Например, частота почек 7 МГц. Повышение частоты означает наличие камней в почках.

Преимущества:

– обладает высоким пространственным разрешением, давая точную структурную информацию.

Недостатки:

– механические колебания молекул рвут нервные окончания;

– не дает полной картины;

– требуется подготовка пациентов (пить воду до приёма);

– очень вреден для детей.

Когерентная лазерная томография

Преимущества:

– с помощью данной томографии можно проводить исследование глаз без вреда для здоровья.

Лазерная томография сильно рассеивающих сред

Из-за рассеивающей среды получается расплывчатое изображение. Границы больших препятствий нечеткие, а мелкие вообще исчезают.

Идет разделение на рассеивающие и нерассеивающие (баллистические) фотоны. Рассеивающие не дают построить картину препятствий, нежели баллистические.

Был проведен эксперимент: в каллоидный раствор был помещен гвоздь (рис. 1). Эксперимент проводился с помощью п/п лазера, при импульсном режиме. Сначала наводим фокус конденсора на препятствие (в нашем случае – гвоздь), фокус конденсора и лазера совпадают. Фиксируем отраженную мощность на ФП. Измеряем время отраженного сигнала (время прихода баллистических фотонов). При минимальной мощности виден пичок. Есть люди, которые опровергают наличие баллистических фотонов, но они использовали другие лазеры.

Данный метод позволяет точно находить поверхность, но условие такое, что необходимо двигаться вокруг поверхности, исследуя ее границы полностью.

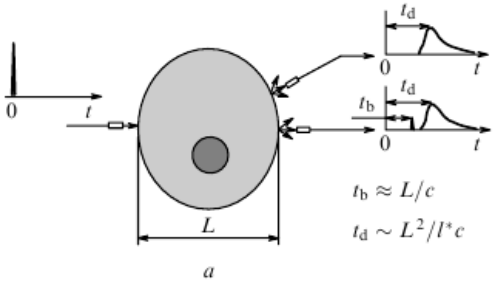


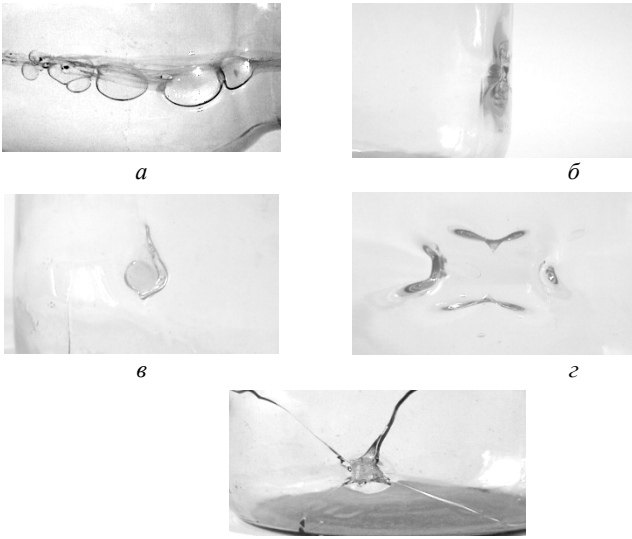
Рис. 1. Импульсно-модуляционный метод зондирования
(t_b и t_d – времена запаздывания баллистической и диффузной составляющих)

Преимущества:
– лазерное излучение безвредно;
– низкая стоимость [2].

2. Установка контроля стеклотары.
Проблемы автоматизированного контроля дефектов стеклоизделий

На некоторых заводах за конвейерами сидят женщины и следят за качеством бутылок. Работают по 4 часа, 6 смен. Работа сложная, изнурительная, требует большого внимания. Автоматизация таких процессов позволяет повысить качество и производительность, значительно облегчает работу операторов. При этом они не будут находиться в рабочей зоне рядом с машинами, рабочие поверхности форм которых нагреты до высокой температуры, а атмосфера сильно загазована [3].

Дефект стеклянной тары – изменение ее формы. На рис. 2 показаны некоторые дефекты стекла, обусловленные плохим качеством стекломассы и нарушениями техпроцесса.



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 2. Дефекты стекла: *а* – пузырь в стекле; *б* – свиль; *в* – шлир; *г* – складка (стекло); *д* – сквозная посечка, скол

В данное время на стеклянных заводах широко применяют контроль изделий с целью их разбраковывания. Изделия контролируются после печи путем выборочного определения партии или непрерывно в поточной линии.

Качество изделий характеризуется, в первую очередь, точностью геометрических размеров и состоянием поверхности стекла, которое оказывает влияние на прочность изделия [4].

Маркетинговое исследование по теме: «Приборы контроля ОТК стеклянных изделий»

Обзор рынка

На рынке приборов контроля ОТК стеклянных изделий в РФ четыре производителя:

– автомат I – CAM компании *SGCC*, Франция;

– система *Veritas* компании *Emhart Glass*, Германия;

– инспекционная машина *Symplex Multikon-NCI*, Германия;

– инспекционная машина *Iris*, Франция.

Потребителями данного товара являются стекольные заводы. На Российском рынке их более трех тысяч.

В России наблюдается стабильный и интенсивный рост производства продукции, разливаемой в стеклянные бутылки, в первую очередь, это алкогольная промышленность.

Многие отечественные предприятия приобрели и запустили импортное оборудование.

В Удмуртии есть два стекольных завода, использующих импортное оборудование. В г. Можге завод «Свет» – автомат I – CAM компании *SGCC*, в посёлке Факел – система *Veritas* компании *Emhart Glass* (чистое стекло, бутылки под водку за рубеж, поставка для прецезионной оптики).

Недостатки оборудования

– машины не видят деффекты стекла,

– большие затраты на покупку оборудования, т. к. необходимо закупать по два комплектаоборудования за один раз.

Информация о ценах и типах моделей приборов контроля ОТК стеклотары представлена в таблице.

Производители приборов контроля ОТК стеклянных изделий

№ п/п	Марка	Производитель	Розничная цена, руб.
1	I – CAM	SGCC, Франция	400 000 евро
2	*Veritas*	*Emhart Glass*, Германия	400 000 евро
3	*Symplex Multikon-NCI*	*Symplex Vision Systems*, Германия	450 000 евро *Symplex Linotronic*
4	*Iris*	ГК *Wisetec*, Франция	480 000 евро *Evolution 5*

В процессе маркетинговых исследований было выявлено, что заводы-производители стеклотары в России хотят видеть на рынке приборы контроля ОТК стеклотары отечественного производства с высоким качеством.

Лазерное эхо-сканирование многослойных прозрачных структур

На рис. 3 схематично показано использование унифицированных измерительных модулей для контроля стеклотары. Стеклотара с конвейера группой изделий, например по 6 штук, сдвигается в такое же количество измерительных модулей. Количество модулей в ряду выбирается исходя из скорости движения изделий, например, при скорости 6 бут/сек необ-

ходимо установить 6 модулей в ряду, чтобы время измерения было не менее 1 секунды. Если на конвейере могут быть изделия разной конфигурации, то второй ряд измерительных модулей будет сконфигурирован под второй вид изделий. Количество рядов измерительных модулей определяется сортаментом выпускаемой стеклотары.

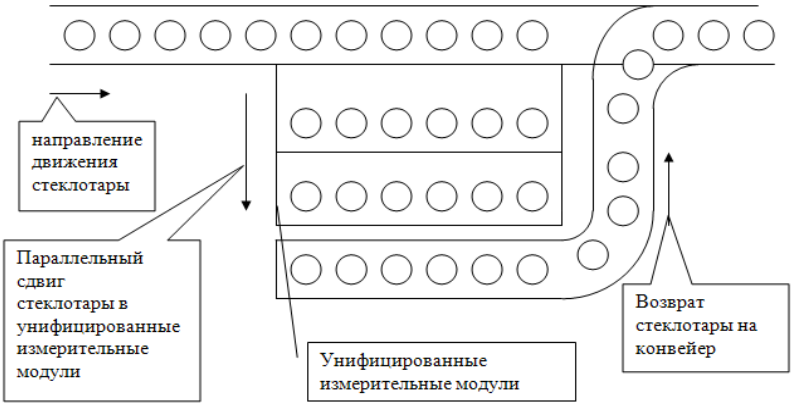


Рис. 3. Использование унифицированных измерительных модулей для контроля стеклотары

На рис. 4 приведена кинематическая схема унифицированного измерительного модуля. В процессе измерения стеклотары лазерное устройство перемещается в вертикальном и горизонтальном направлениях по направляющим таким образом, чтобы сохранять перпендикулярность к наружной поверхности стеклотары и располагать фокус оптической системы внутри стенки стеклотары. Кинематика модуля обеспечивается перемещением вертикальных направляющих по горизонтальным с одновременным возвратно-поступательным движением лазерного измерительного устройства по вертикальным направляющим. Одну область бутылки могут «прочерчивать» несколько измерительных устройств для получения наименьшей дискретности измеренных точек. Та же цель достигается многократным проходом измерительного устройства по определённой области с внесением заданного фазового сдвига в траекторию движения. Сложность формы направляющих определяется конфигурацией стеклотары, в случае круглых бутылок – направляющие представляют собой концентрические окружности. Направляющие могут быть изготовлены из полых алюминиевых профилей, стянутых между собой внутренней упругой нитью.

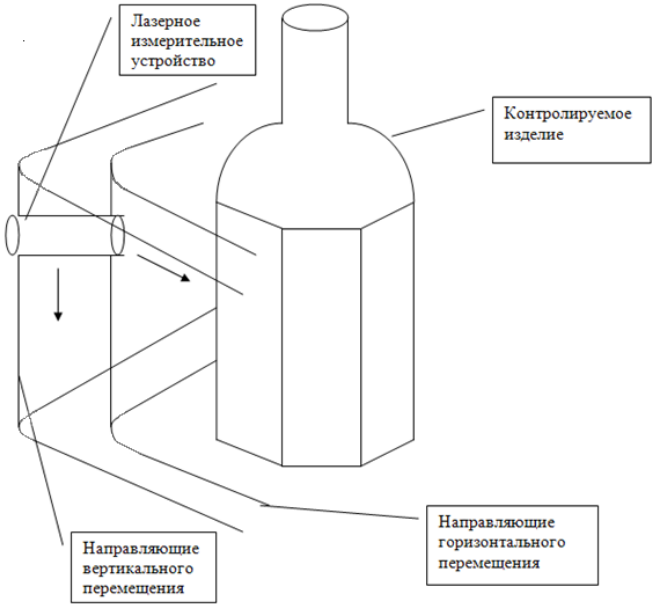


Рис. 4. Кинематическая схема унифицированного измерительного модуля

Так же производится измерение остальных параметров стеклотары, например, горизонтальность горлышка, соосность центра горлышка и дна бутылки и т. п. Этот метод позволяет определять дефекты стекла, например, «посечки», пузырность, инородные включения, «свиль», «шлир», «складка». Резкое изменение толщины стеклотары означает наличие дефекта внутренней структуры стекла.

Список литературы

1. *Блинк, Э.* Основы МРТ: физика / пер. Е. Макаровой. – М., 2000. – 76 с.
2. *Зимняков, Д. А.* Оптическая томография тканей / Д. А. Зимняков, В. В. Тучин // Квантовая электроника. – 2002. – № 10. – С. 849–867.
3. *Гущин, С. Н.* Моделирование и управление тепловой работой стекловаренных печей / С. Н. Гущин, В. Г. Лисиненко, В. Б. Кутьин. – Екатеринбург : УГТУ, 1997. – 398 с.
4. Виды брака в производстве стекла / Х. Бах [и др.]. – М. : Стройиздат, 1986. – 648 с.
5. *Чураков, В. Л.* Лазерное эхо-сканирование многослойных прозрачных структур. – Ижевск, 2009.

УДК 681.785 + 615.47

С. И. Юран, д-р техн. наук, профессор
Т. Чжан, магистрант
E-mail: yuran-49@yandex.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Достижения ИжГТУ имени М. Т. Калашникова в области создания фотоплетизмографов со сниженным влиянием артефактов

Одним из методов, позволяющих объективно оценить состояние сосудистой системы, является метод фотоплетизмографии [1], основанный на регистрации пульсовых кривых, параметры которых связаны с гемодинамическими показателями организма.

Одной из основных причин, затрудняющих измерение и обработку физиологической информации с использованием метода фотоплетизмографии, является влияние на регистрируемый сигнал артефактов различной природы (движение биологического объекта, оптические помехи, состояние поверхности биоткани и др.). Для повышения информативности гемодинамических показателей, определяемых на основе анализа фотоплетизмограмм, необходимо выявить и устранить или, по крайней мере, ослабить влияние возможных артефактов, сопровождающих процесс снятия и обработки фотоплетизмограмм [2].

В работе анализируются причины возникновения артефактов и рассматриваются пути снижения их влияния.

Опыт разработки фотоплетизмографов показывает, что снижение влияния артефактов можно получить как на этапе регистрации сигнала за счет датчиков и аппаратуры, так и программно после регистрации фотоплетизмограмм [3–5].

В зависимости от решаемых задач необходимо выбрать наиболее приемлемые варианты конструкции оптоэлектронных датчиков. Проведенные эксперименты показали следующее. Датчик с равномерно распределенными по окружности рабочей поверхности источниками излучения, в центре которых установлен фотоприемник с собирающей линзой, обладает высокой чувствительностью за счет увеличения поверхности засветки и удобством эксплуатации за счет крепления корпуса датчика к биообъекту с помощью ленты велькро.

Датчик с излучающей поверхностью, сформированной с помощью оптической системы на основе светодиода *4*, установленного во вкла-

© Юран С. И., Чжан Т., 2015

дыше-экране *3* с защитным светофильтром *7*, расположенного в центре рабочей поверхности датчика, коаксиально по окружности расположены фотодиоды *5* (кольцевой фотоприемник) со светофильтром *6*, крепление датчика, состоящего из корпуса *2* и крышки *1*, к биологическому объекту (БО) осуществляется с помощью манжеты (рисунок). Рассмотренные датчики позволяют снизить такие артефакты, как перекос установки датчика, наличие загрязненных участков кожи и ее пигментация, движение биообъекта [6–9].

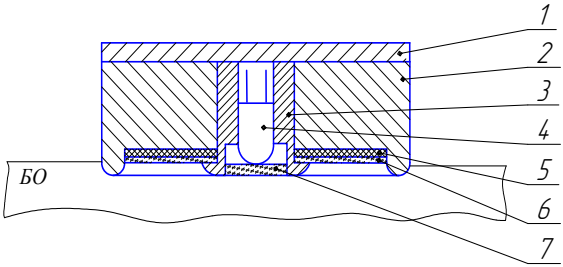


Рис. 1. Оптоэлектронный датчик с кольцевым приемником

Большое значение для получения объективной информации о периферическом кровообращении биологических тканей имеет правильная установка датчика на биообъекте. С этой целью разработаны конструкции устройств (оснастка) для установки датчиков, а также конструкции датчиков, позволяющие снизить влияние давления датчика на точность снимаемых фотоплетизмограмм за счет плавной регулировки давления его корпуса на биологический объект; с расположением источника и приемника оптического излучения на подвижном основании и системы стабилизации усилия прижима датчика фотоплетизмографа к поверхности биологического объекта [10–12].

Артефакты, возникающие в результате действия внешних электромагнитных полей, подавляются путем частотной фильтрации сигналов с использованием аналоговых и цифровых фильтров нижних частот с высокой крутизной спада амплитудно-частотной характеристики, а также с помощью режекторных фильтров, настроенных на частоту сети 50 Гц. Кроме этого обязательно предусматривается тщательная экранировка датчика и аппаратуры. При этом необходимо учитывать следующее. С одной стороны при существенном ограничении верхней частоты в спектре ФПГ сигнала (до 10 Гц) влияние внешних полей уменьшается, а с другой стороны – теряется часть полезной информации, заключенной в высших гармониках снимаемого сигнала.

Для подавления оптических помех требуется хорошая оптическая экранировка датчика или использование фотоприемников с оптическим фильтром видимого света, а также соответствующая оснастка для его крепления на биологическом объекте.

Имеются и нерешенные задачи по снижению влияния артефактов, в частности, артефактов движения. Этим задачам будут посвящены дальнейшие исследования.

Для повышения помехоустойчивости измерительного тракта фотоплетизмографа используется импульсное питание источника излучения частотой несколько килогерц с последующим избирательным усилением преобразованного фотоприемником в электрический сигнал модулированного по амплитуде импульсного светового потока. В этом случае частотный спектр внешних фоновых засветок датчика, сетевых наводок, а также температурный дрейф элементов оптоэлектронной пары лежит за пределами полосы пропускания избирательного усилителя.

Автоматическая регулировка усиления в измерительном канале, а также автоматическая регулировка интенсивности излучения источника позволяет уменьшить искажения полезного сигнала, обусловленные различным уровнем периферического кровотока и состоянием поверхности биологической ткани [13].

При компьютерном анализе фотоплетизмограмм возникает проблема исключения аномальных результатов. К последним относятся участки пульсовых кривых, которые искажены артефактами, и удалить их аппаратурными методами не удалось. Разработана программа, которая позволяет обнаруживать и исключать из исходного сигнала некорректные данные, возникшие под влиянием артефактов в процессе регистрации фотоплетизмограмм, что способствует получению качественных диагностических показателей, характеризующих состояние сердечно-сосудистой системы человека и животных [14, 15].

Выявленные причины и источники возникновения артефактов в фотоплетизмографии, а также методы и аппаратура для снижения их влияния позволяют повысить достоверность контроля состояния сердечно-сосудистой системы.

Список литературы

1. *Алексеев, В. А.* Проектирование устройств регистрации гемодинамических показателей животных на основе метода фотоплетизмографии : моногр. / В. А. Алексеев, С. И. Юран. – Ижевск : ИжГТУ, ИжГСХА, 2006. – 248 с.

2. *Алексеев, В. А.* Снижение влияния артефактов при регистрации фотоплетизмограмм / В. А. Алексеев, С. И. Юран // Датчики и системы. – 2007. – № 6. – С. 19–22.

3. *Алексеев, В. А.* Информационная модель процесса регистрации и обработки фотоплетизмограмм / В. А. Алексеев, С. И. Юран, Або Исса Н. // Вестн. ИжГТУ. – 2006. – № 3. – С. 48–52.

4. *Алексеев, В. А.* Выделение артефактов в биотехнической системе фотоплетизмографии / В. А. Алексеев, С. И. Юран // Приборостроение-2009: материалы Второй междунар. науч.-техн. конф. (11–13 нояб. 2009 г.). – Минск : Изд-во Бел. нац. техн. ун-та, 2009. – С. 35–36.

5. *Алексеев, В. А.* Источники артефактов в автоматизированной системе фотоплетизмографии / В. А. Алексеев, А. С. Перминов, С. И. Юран // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения (УКИ 10) : тр. Рос. конф. с междунар. участием (Москва, 18–20 окт. 2010 г.). – М. : ИПУ РАН им. В. А. Трапезникова, 2010. – С. 191.

6. А. с. 1766336 СССР, МПК^5 А 01 J 7/00, А61В 5/00. Устройство для измерения физиологических показателей сельскохозяйственных животных / Юран С. И., Алексеев В. А., Заболотских В.И ; опубл.1992, Бюл. № 37.

7. *Алексеев, В. А.* Фотоплетизмографический датчик / В. А. Алексеев, В. И. Заболотских, С. И. Юран // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления – Датчик 1997 : тез. докл. IX НТК с участием зарубежных специалистов. – М. : МГИЭМ, 1997. – С. 110–112.

8. *Юран С. И., Заболотских В. И.* Оптоэлектрический датчик / С. И. Юран, В. И. Заболотских // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления – Датчик 1999 : материалы XI НТК с участием зарубежных специалистов. – М. : МГИЭМ, 1999. – С. 64.

9. *Перминов, А. С.* Проектирование оптоэлектронных датчиков с устранением влияния артефактов / А. С. Перминов, С. И. Юран // Вестник ИжГТУ, 2010. – № 3 (47). – С. 102–105.

10. А. с. 1591948 (СССР). Фотоплетизмограф / Юран С. И., Алексеев В. А., Заболотских В. И., Останин И. Е.; опубл. 1990, Бюл. № 34.

11. Пат. 99946, МПК^7: А61В 5/0295. Устройство для фотоплетизмографии / Штин А. А., Юран С. И, Перминов А. С., Покоев П. Н. ; опубл. 10.12.2010 ; Бюл. № 3 4 (Заявка на полезную модель №2 010123575/14 (033562) от 9.06.2010).

12.*Дозоров, А. В.* Разработка системы стабилизации усилия прижима датчика фотоплетизмографа к поверхности биологического объекта / А. В. Дозоров, С. И. Юран // Приборостроение в XXI веке – 2012. Интеграция науки, образования и производства : материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – С. 144–149.

13.*Алексеев, В. А.* Автоматизированный фотоплетизмограф / В. А. Алексеев С. А. Ардашев, С. И. Юран // Приборы и методы измерений. – Минск : БНТУ, 2013. – № 1 (6). – С. 46–51.

14.Программа для просмотра и редактирования фотоплетизмограмм / В. А. Алексеев [и др.] // Лазеры. Измерения. Информация : сб. докл. 21-й Междунар. конф. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – Т. 3. – С. 118–125.

15.*Алексеев, В. А.* Выделение приоритетных параметров для базы данных пульсовых кривых / В. А. Алексеев, А. А. Дюпин, С. И. Юран // Известия Самарского НЦ РАН. –2013. – Т. 15. № 4. – С. 253–257.

Секция 6. АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

УДК 004.4(045)

E. M. Markov, Ph. D., Assistant Professor
M. Aiman Al Akkad, Ph. D., Associate Professor
P. K. Vytovtov, Master's Student
E-mail: osanwevpk@gmail.com
Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk

Analysis of software code metrics for defining their priority for cocol's metric

1. Introduction

The Cocol's metric [1] is one of the several hybrid metrics which are used for evaluating software code. There are four basic models for this metric [1], but they do not provide an optimal way to calculating the quality of software code because they do not consider the metrics of hardware operation. Thus we decided to develop a new model for Cocol's metric and in this article our analysis is shown.

Earlier we defined two metrics which are optimal for using in the process of calculating the software code quality – these are span metric and computational complexity [2]. We decided to expand them and started to use six code metrics: asymptotic complexity [3, 4], the count of operations with CPU registers, the count of operations with RAM, the used volume of RAM, the count of external functions calls, and cyclomatic complexity [2]. We will define and consider them in the next section.

Our future work will be devoted to the calculation of weight coefficients of our Cocol's metric model.

2. Defining the order of the metrics

According to our statement written above, we suggest to use those six metrics for calculating the quality of software code mentioned in the Introduction, and we will consider these metrics and define their order in the Cocol's metric model.

3.1 Asymptotic complexity

According to [3, 4], asymptotic computational complexity is an approach for calculating algorithms complexity. Donald E. Knuth wrote [6] that this

© Markov E. M., M. Aiman Al Akkad, Vytovtov P. K., 2015

way is optimal for comparing algorithms with each other. It is possible because this metric shows iterations count of algorithms approximately. It means we can consider and compare only significant parts of algorithms and receive the exact algorithm complexity. Therefore this metric may be the basic metric in the Cocol's metric model.

3.2 The count of operations with CPU registers

The count of operations with CPU registers shows us a number of code lines and CPU utilization activity. It is known that the CPU does all programs' commands. This implies that the value of this metric can be the main parameter in the model, but the number of operations cannot show the time required by the algorithm, and it allows us to estimate the CPU load. Thus this metric may be the second in the Cocol's metric model.

3.3 The count of operations with RAM

The count of operations with RAM metric is similar to the previous metric but it shows how many requests to the RAM the program does during its work. Based on this we cannot consider this metric as a main one, and it is like the count of operations with CPU registers metric, but it looks as the third metric in the Cocol's metric model because the program requests the RAM through the CPU, and its work is with higher priority.

3.4 The used volume of RAM

The used volume of RAM is an important metric too, but it is often a not necessary parameter in algorithms analysis because now RAM capacity is not a problem. But on the other hand, the amount of used resources is one of the considered parameters in algorithms evaluation.

3.5 Cyclomatic complexity

According to [6], cyclomatic complexity is a metric which shows a number of algorithms executions ways. Mainly this metric is a good tool for software testing because it provides the opportunity to calculate the number of tests for a program. But for software developers this metric cannot give useful information because it is not linked with computational complexity. As a result we cannot use this metric as a main parameter but people are used to use the cyclomatic complexity which helps them to understand the values of other metrics including Cocol's metric.

3.6 The count of external functions calls

This metric shows how frequently one function makes requests to other functions. Why do we need this parameter? Each call to an external function is an additional work of the CPU and RAM which can increase their demand by the software code. Also this metric is included in asymptotic complexity partially. Thus the count of external functions calls is similar to cyclomatic complexity in the level of significance in our model. Since this metric is used partially in asymptotic complexity, it should be the last in the Cocol's metric model.

3. Conclusion

So, according to Section 2, we can define the order of the software code metrics which we have suggested to use in the model of the Cocol's metric. We suggest the following order: (1) asymptotic complexity, (2) the count of operations with CPU registers, (3) the count of operations with RAM, (4) the used volume of RAM, (5) cyclomatic complexity, and (6) the count of external functions calls.

We showed that asymptotic complexity is the most important parameter in our model for Cocol's metric. But we cannot say something similar about the count of external functions calls which will have the minimum weight in the developed model.

Our future work is devoted to calculating the weight coefficients and determining the model for Cocol's metric and developing a software program for automating this calculating process.

References

1. *Zwezdin, S. V.* Problems of measurement of code quality // Вестник ЮУрГУ. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2010. – № 2 (178). – P. 62–66.

2. A Software Metrics Survey / S. D. Conte [et al.]. – Purdue University, 1987. – 35 p.

3. *Hartmanis, J.* On the computational complexity of algorithms / J. Hartmanis, R. E. Stearns // Transactions of the American Mathematical Society. – 1965. – № 117. – P. 285–306.

4. *Garey, Michael.* Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness / Michael Garey, David S. Johnson. – New York : W. H. Freeman & Co., 1979. – 338 p.

5. *Knuth, Donald E*. The art of computer programming: fundamental algorithms. – Addison Wesley Longman Inc., 1997. – 665 p.

6. *McCabe, Thomas J.* A Complexity Measure // IEEE Transactions on Software Engineering. – 1976. – Vol. SE-2, № 4. – P. 3–15.

УДК 519.6:004.93

А. А. Айзикович, канд. физ.-мат. наук, доцент
Ю. П. Демаков, канд. физ.-мат. наук, профессор
Е. Н. Коротаева, инж.-математик
E-mail: pmi@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Алгоритм определения характерных точек кардиограмм с помощью вейвлет-преобразования

Основываясь на работах [1, 2], авторами разработан программный комплекс анализа электрокардиограмм.

1. **Бинарное вейвлет преобразование.** Вейвлет преобразование сигнала $f(x)$ определяется как $W_s f(x) = f(x) * \psi_s(x) = = \frac{1}{s}\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi\left(\frac{x-t}{s}\right)dt$, где s – масштабирующий коэффициент, $\psi_s(x) = = \frac{1}{s}\psi\left(\frac{x}{s}\right)$ – растяжение основного вейвлета. При $s = 2^j$, $j \in Z$ – множеству целых чисел, вейвлет-преобразование бинарное. Такое преобразование сигнала вычисляется по алгоритму Маллы:

$$S_{2^j} f(n) = \sum_{k \in Z} h_k S_{2^{j-1}} f(n - 2^{j-1}k),$$

$$W_{2^j} f(n) = \sum_{k \in Z} g_k S_{2^{j-1}} f(n - 2^{j-1}k),$$

где S_{2^j} – сглаживающий оператор; $S_{2^0} f(n) = d_n$ – анализируемый цифровой сигнал, являющийся ЭКГ-сигналом; $W_{2^j} f(n)$ – вейвлет-преобразование цифрового сигнала $f(n)$; h_k, g_k – коэффициенты фильтра низких частот $H(\omega)$ и фильтра верхних частот $G(\omega)$ соответственно: $H(\omega) = \sum_{k \in Z} h_k e^{-ik\omega}$, $G(\omega) = \sum_{k \in Z} g_k e^{-ik\omega}$. Используемый вейвлет – это квадратичный сплайн-вейвлет с компактным носителем и исчезающим моментом. Он является первой производной гладкой функции. Дискретное преобразование Фурье $\psi(x)$ определяется как $\hat{\psi}(\omega) = i\omega \frac{\sin(\omega/4)}{\omega/4}$; $H(\omega) = e^{i\omega/2}\cos^3(\omega/2)$, $G(\omega) = 4ie^{i\omega/2}\sin(\omega/2)$.

© Айзикович А. А., Демаков Ю. П., Коротаева Е. Н., 2015

1. **Определение R зубца.** Анализируем отсчеты сигнала ЭКГ. Затем используем решающие правила.

1) *Выбор характерного масштаба:* от 2^1 до 2^4. Преобразование $W_{2^j} f(n)$ при малых масштабах отражает высокочастотные компоненты сигнала, а при больших масштабах – низкочастотные. Частотная характеристика ЭКГ-сигнала, шум и помехи, а также пропускная способность эквивалентного фильтра $Q^j(\omega)$ $(Q^1(\omega) = G(\omega),$ $Q^j(\omega) = G(2^{j-1}\omega)\times$ $\times H(2^{j-2}\omega)\ldots H(\omega),\ j > 1)$ показывают, что значительные энергии QRS комплекса изменяются при масштабах 2^3 и 2^4.

2) *Определение линий максимумов модуля R волн.* Согласно форме квадратичного сплайн-вейвлета каждая однофазная волна соответствует паре «положительного максимума – отрицательного минимума» $W_{2^j} f(n)$ при различных масштабах. Передний фронт волны соответствует отрицательному минимуму, а задний фронт – положительному. Модули этих максимумов (минимумов), соответствующих одному и тому же фронту, образуют линию максимума модуля. Волна соответствует двум линиям максимума модуля с противоположными знаками $W_{2^j} f(n)$. Необходимо определить линии максимумов модуля, соответствующие R волнам при характерных масштабах. Метод выбора этих максимумов модуля от большого до малого масштабов следующий:

– определим все максимумы модуля, превышающие предельное значение ε_4 при масштабе 2^4, с тем, чтобы получить множество максимумов модуля $\{n_k^4 \mid k = 1,\ldots,N\}$;

– определим значение максимума модуля большее, чем пороговое значение ε_3 в окрестности n_k^4 масштаба 2^3 и определяем n_k^3. Если существует несколько максимумов модуля, то выбираем наибольший. Максимум модуля самый близкий к n_k^4 будет выбран, если наибольший не больше других более чем в 1,2 раза. Если модуль максимума не существует, тогда множества n_k^3, n_k^2 и n_k^1 нулевые. Итак, множество n_k^3 может быть найдено: $\{n_k^3 \mid k = 1,\ldots,N\}$;

– подобно предыдущему шагу находим множество положений максимума модуля при масштабах 2^2 и 2^1. Получим множества положений $\{n_k^2 \mid k = 1,\ldots,N\}$ и $\{n_k^1 \mid k = 1,\ldots,N\}$.

Поиск максимумов модуля при характерных масштабах дает нам множество линий максимума модуля $\{n_k^4, n_k^3, n_k^2, n_k^1 \mid k = 1,\ldots,N\}$. Пренеб-

регая линиями максимума модуля с $n_k^1 = 0$, получаем множество оставшихся $\{n_k^4, n_k^3, n_k^2, n_k^1 \mid k = 1, \ldots, N_1\}$.

3) *Вычисление сингулярной степени*. Пусть

$$a_j(n_k) = |W_{2^j} f(n_k)|,\ \alpha_j = \log_2 a_{j+1}(n_k^{j+1}) - \log_2 a_j(n_k^j),\ \alpha' = (\alpha_1 + \alpha_2)/2.$$

Для большинства нормальных R волн $\alpha' > 0$, для искаженных волн увеличение низкочастотных компонент может привести только к увеличению α'. Если α' существенно уменьшилось или стало отрицательным, то точки соответствуют шуму или помехам.

4) *Устранение изолированных и излишних линий максимума модуля.* Полосы частоты для помех, связанных с движением и мускульными шумами, часто накладываются с полосой частот QRS комплекса. Обычно полосовые фильтры не могут устранить или даже уменьшить эти эффекты. Во множество линий максимумов модуля могут быть включены линии помех и шумов. Устраняя изолированные и излишние линии, мы можем уменьшить эффекты помех и шумов.

Во-первых, удаляем изолированные линии максимумов модуля. R волна соответствует паре положительного максимума – отрицательного минимума при каждом характерном масштабе, и интервал двух максимумов модуля при масштабе 2^1 короче, чем ее ширина. Допустим n_1^1 – положение положительного максимума (отрицательного минимума) $W_{2^j} f(n)$ при масштабе 2^1, а n_k^1 $(k = 1, \ldots, N, k \neq 0)$ – положение отрицательного минимума (положительного максимума) при некотором масштабе. Если интервал между n_1^1 и n_k^1 $(k \neq 0)$ больше, чем интервальный порог, то максимум (минимум) n_1^1, считается локальным (изолированным) максимумом (минимумом). Соответствующая линия будет удалена из множества этих линий. Выбранный интервальный порог должен быть приблизительно равен интервалу двух максимумов модуля, созданных самым широким возможным QRS комплексом, для того, чтобы широкие QRS комплексы не были потеряны; в этом случае большинство помех и шумов устраняются. Интервальный порог определим в 120 мс.

Далее устраняем излишние линии максимумов модуля. Обычно R волне соответствует только 2 линии максимума модуля. Но для некоторых двойных R волн или шумов в окрестности линии модуля максимума существует две или более таких линий и только одна полезная. Лишние линии максимумов модуля устраняются правилами, описанными ниже. Максимум модуля анализируем при масштабе 2^3, когда энергия комплекса наибольшая. Например, в окрестности положительного

максимума есть два отрицательных минимума Min1 и Min2, их абсолютные величины $A1$ и $A2$, а интервалы между минимумами и максимумом $L1$ и $L2$ соответственно. Правила оценки излишних линий максимумов модуля следующие: а) если $A1/L1 > 1{,}2A2/L2$, то Min2 лишний; б) если $A2/L2 > 1{,}2A1/L1$, то Min1 лишний; в) в противном случае, если Min1 и Min2 находятся на одной и той же стороне положительного максимума, то самый отдаленный минимум от максимума – избыточен. Если Min1 и Min2 находятся по разные стороны максимума, то минимум, следующий за максимумом, избыточен.

Руководствуясь этими правилами, выбираем границу R волны с большим наклоном и амплитудой или положительную R волну (соответствующую положительному максимуму после отрицательного минимума в паре максимум модуля). Подобная процедура применяется в случае одного отрицательного минимума и двух положительных максимумов для исключения излишних линий максимума модуля.

5) *Определение R зубца:* в соответствии с отношением между характерными точками сигнала и точками вейвлет преобразования R зубец может находиться в точке пересечения с нулем пары «максимум – минимум» при масштабе 2^1. После того как удалены изолированные и излишние линии из множества положений линий максимумов модуля, в данном множестве n_k^1 $(k = 1,..., N_2)$ остались только пары положительного максимума – отрицательного минимума при масштабе 2^1. Таким образом, найдены пересекающие нуль точки пар положительного максимума – отрицательного минимума, с помощью которых можно получить положение R пиков. При определении R зубца для нахождения максимума модуля используем четыре порога $\{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4\}$ при различных масштабах. При помощи этих пороговых значений происходит обновление максимумов модуля вейвлет преобразования QRS комплекса следующим образом: $A_j^{m+1} = A_j^m$ при $|W_{2^j} f(n_k^j)| \geq 2A_j^m$, иначе $A_j^{m+1} = 0{,}875A_j^m + 0{,}125\,|W_{2^j} f(n_k^j)|$.

Пусть $\varepsilon_j = 0{,}3A_j^{m+1}$, $j = 1, 2, 3, 4$, $|W_{2^j} f(n_k^j)|$ – максимум модуля вейвлет-преобразования, соответствующий R волне. При $|W_{2^j} f(n_k^j)| \geq 2A_j^m$ параметр A_j^{m+1} остается неизменным, иначе внезапное увеличение QRS амплитуды может изменить следующую оценку.

2. **Определение начала и конца QRS.** После определения R зубцов, найдем начало и конец QRS комплекса. Начало QRS комплекса определим как начало Q волны (или R волны, когда Q волна не присутствует),

а окончание QRS комплекса определим как конец S волны (или R волны, когда S волна не присутствует).

Обычно Q и S волны высокочастотные и низкоамплитудные, и их энергия наиболее значима при малом масштабе. Итак, мы определяем начало и конец QRS комплекса в масштабе 2^1. Начало QRS соответствует началу первого максимума модуля перед парой максимума модуля, созданной R волной, и конец QRS соответствует окончанию первого максимума модуля после этой пары максимума модуля. Из пары максимума модуля R волны начало и конец первых максимумов модуля до и после пары определяются во временно́м окне. Определение начальной и конечной точки при масштабе 2^1, а не при исходном сигнале обосновывается тем, что нужно избегать эффектов дрейфа.

3. **Определение волн T и P.** После обнаружения QRS комплекса, определяются также начало и конец зубцов T и P волн. Судя по частотной характеристике ЭКГ-сигнала, шуму и помехам, а также полосам пропускания фильтра $Q^j(\omega)$ при различных масштабах, энергия T и P волн сосредотачиваются при масштабах 2^4 и 2^5. Но поскольку при масштабе 2^5 имеется существенный дрейф, для определения T и P волн выбираем масштаб 2^4.

T волна порождает пару максимумов модуля с разными знаками $W_{2^j} f(n)$ при масштабе 2^4, которая во временном окне следует после определенного ранее R зубца. Поскольку T волна почти симметрична по отношению к зубцу, то пик T волны соответствует пересечению в нуле пары максимума модуля с задержкой в 7 отсчетов. Начало и конец T волны соответствует началу и концу пары максимумов модуля с задержками $-7(1-2^{4-1})$ и $2(2^4+2^{4-1}-2)$ отсчетов. На практике точки вблизи начала и конца пары максимумов модуля близки к нулю, поскольку T волна сглаживается эквивалентным фильтром $Q^j(\omega)$ при большом масштабе, и те точки, которые удалось определить, лежат внутри интервала между началом и концом пары максимума модуля. Когда мы находим начало и конец пары максимума модуля, оказывается, что для начала пары характерно запаздывание в -2 отсчета, а конца – в -17 отсчетов.

Зубец, начало и конец P волны определяются также, как и для T волны. Но P волна находится перед R.

Список литературы

1. *Mallat, S.* Zero-crossings of a wavelet transform // IEEE Trans. Inform. Theory. – 1991. – Vol. 37, No 4. – Pp. 1019–1033.

2. *Li, C.* Detection of ECG characteristic points using wavelet transforms / C. Li, C. Zheng, C. Tai // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1995. – Vol. 42, No 1. – Pp. 21–28.

УДК 519.6

А. А. Айзикович, канд. физ.-мат. наук, доцент
И. З. Климов, д-р техн. наук, профессор
С. А. Осипов, студент
E-mail: pmi@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

О программной реализации метода регуляризации

Решение некоторых обратных физических задач, например, обработка результатов наблюдений[1], приводит к линейному интегральному уравнению Фредгольма 1-го рода

$$Az \equiv \int_a^b K(x,s)z(s)ds = u(x),\ x \in [c,d],\ z \in Z,\ u \in U, \qquad (1)$$

где A – линейный оператор, действующий из гильбертова пространства Z в гильбертово пространство U. Требуется найти $z(s)$ по известной правой части $u(x)$ и ядру $K(x,s)$. Известно, что такая задача является некорректной по Адамару. Во-первых, точного решения уравнения (1) может не существовать. Во-вторых, задача является неустойчивой, т. е. малым изменением правой части $u(x)$ соответствуют большие изменения решения $z(s)$. Второе замечание более существенно, т. к. на практике исходные данные (правая часть и ядро) заданы с некоторой погрешностью. Вышеизложенное означает, что решать задачу обычными численными методами нельзя. Как правило, полученное в этом случае решение будет представлять из себя большие возмущения, не дающие полезной информации о точном решении.

Описание метода. Имея заданный уровень погрешностей исходных данных в (1) $A_h : \|A_h - A\| \le h$, $u_\delta : \|u_\delta - u\| \le \delta$, $\eta = (\delta, h)$, переходим к постановке задачи в виде

© Айзикович А. А., Климов И. З., Осипов С. А., 2015

[1] В частности, задача определения формы радиоимпульса $z(t)$, излученного источником, по результатам записи его на больших расстояниях от источника $u(x)$, если известна импульсная функция трассы распространения $K(x)$ [1].

$$A_h z = u_\delta \,. \tag{2}$$

Определим обобщенную невязку

$$\rho_\eta(\alpha) = \left\| A_h z_\eta^\alpha - u_\delta \right\|^2 - \left(\delta + h \left\| z_\eta^\alpha \right\| \right)^2 ,$$

где $z_\eta^\alpha -$ минимизирует сглаживающий функционал

$$M^\alpha[z,u] = \| A_h z - u_\delta \|^2 + \alpha \| z \|^2 . \tag{3}$$

А. Н. Тихонов доказал [1, 2], что подменяя исходную постановку (2) задачей минимизации функционала (3), получаем корректную параметрическую задачу, при этом параметр α может быть найден единственным образом из уравнения обобщенной невязки $\rho_\eta(\alpha) = 0.$ Задача минимизации функционала (3) может быть решена прямыми методами (градиентного спуска, методом сопряженных градиентов), однако на ЭВМ удобнее находить z_η^α как решение интегро-дифференциального уравнения Эйлера – Лагранжа для функционала (3).

Возьмем теперь в качестве функционального пространства Z пространство Соболева $W_2^1[a,b]$. Это позволяет гарантировать сходимость приближенных решений к точному в метрике пространства $W_2^1[a,b]$, а, следовательно, и равномерную сходимость. Тогда $\|z\|^2 = \int_a^b \left(|z(s)|^2 + |z'(s)|^2 \right) ds,$ а соответствующее уравнение Эйлера можно записать как

$$\int_a^b \overline{K}(s,t) z(t) dt + \alpha \left(z(s) - z''(s) \right) = g(s) , \tag{4}$$

где

$$\overline{K}(s,t) = \int_c^d K(x,s) K(x,t) dx,$$

$$g(s) = \int_c^d K(x,s) u_\delta dx,$$

при этом должны выполняться краевые условия $z'(a) = 0, \;\; z'(b) = 0$. Если по смыслу задачи известны значения производных точного решения

на концах типа $z'(a)=m_1, z'(b)=m_2$, то к предыдущей задаче можно перейти, выполняя замену $z(s)=f(\tilde{z}(s),s)$, например,

$$z(s)=\tilde{z}(s)-\frac{m_1}{2(b-a)}(b-s)^2+\frac{m_2}{2(b-a)}(s-a)^2 .$$

Если не соблюдены краевые условия, то полученное решение, вообще говоря, будет содержать отклонения на краях промежутка.

Получение решения. Составим разностный аналог уравнения (4) на равномерной сетке с шагом h. Для простоты примем $[c,d]=[a,b]$. Разобьем промежуток $[a,b]$ на n равных частей:

$$s_i=a+0,5h+(i-1)h,\ i=1,2,...,n;\ h=\frac{b-a}{n}.$$

Заменив в левой части уравнения (4) интеграл соответствующей ему интегральной суммой, например, по формуле прямоугольников, а $z''(s)$ – соответствующим разностным отношением, получим

$$\sum_{j=1}^{n}\overline{K}(s_i,t_j)hz_j+\alpha z_i+\alpha\frac{2z_i-z_{i-1}-z_{i+1}}{h^2}=g_{i,} \qquad (5)$$

где

$$g_i=\int_c^d K(x,s_i)u_\delta(x)dx, i=1,2,...,n.$$

Значения $\overline{K}(s_i,t_j)$ и g_i вычислим по квадратурной формуле трапеций:

$$\overline{K}(s_i,t_j)=\sum_{l=1}^{n-1}0,5\Big(K(s_l,s_i)K(s_l,t_j)+K(s_{l+1},s_i)K(s_{l+1},t_j)\Big),$$

$$g(s_i)=\sum_{l=1}^{n-1}0,5\big(K(s_l,s_i)+K(s_{l+1},s_i)\big). \qquad (6)$$

При $i=1$ и $i=n$ в (5) входят не определенные еще значения z_0 и z_{n+1}. Чтобы удовлетворить граничным условиям, полагаем $z_0=z_1$ и $z_{n+1}=z_n$.

Обозначим через A матрицу оператора, аппроксимирующего интегральный оператор в (2). Запишем уравнение (5) в матричном виде:

$$(A^{\text{т}}A+\alpha C)z=A^{\text{т}}u . \qquad (7)$$

Здесь $A^{\mathrm{T}}A$ – матрица с элементами $a_{ij} = \overline{K}(s_i, t_j)h$, $A^{\mathrm{T}}u$ – вектор с компонентами $(g_1, g_2, ..., g_n)$, вычисляемыми по формуле (6), αC – симметричная трехдиагональная матрица, где главная диагональ состоит из элементов $\alpha(1+2h^{-2})$, а под и над главной диагональю повторяется элемент $-\alpha h^{-2}$.

Таким образом, задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений (7). Она может быть решена стандартными методами решения линейных систем, однако наибольшую выгоду по скорости работы дает метод Воеводина. Матрицу C можно представить в виде $C = S^{\mathrm{T}}S$, где S – вещественная треугольная матрица, а S^{T} – ей сопряженная. Положив $y = Sz$ (следовательно, $z = S^{-1}y$), получим $(A^{\mathrm{T}}A + \alpha C)S^{-1}y = A^{\mathrm{T}}u$. Умножая слева предыдущее равенство на $(S^{-1})^{\mathrm{T}}$, получим $(D^{\mathrm{T}}D + \alpha E)y = D^{\mathrm{T}}u$, где $D = AS^{-1}$. Матрицу D можно представить в виде $D = QPR$, где Q, P – ортогональные матрицы, P – правая двухдиагональная матрица. Получение такого представления можно найти, например, в [3]. Полагая теперь $x_\alpha = Ry_\alpha$ (следовательно, $y_\alpha = R^{-1}x_\alpha$), получим $(R^{\mathrm{T}}P^{\mathrm{T}}Q^{\mathrm{T}}QPR + \alpha E)R^{-1}x_\alpha = D^{\mathrm{T}}u.$ После преобразования имеем: $(P^{\mathrm{T}}P + \alpha E)x_\alpha = RD^{\mathrm{T}}u = f.$ Поскольку матрица $P^{\mathrm{T}}P$ трехдиагональная, то последняя система легко решается, например, методом прогонки. Переход от вектора x_α к вектору z_α осуществляется по формуле $z_\alpha = S^{-1}R^{-1}x_\alpha$.

Выше был описан алгоритм поиска решения при фиксированном параметре α, который сводится к решению системы (7). Было упомянуто, что этот параметр может быть найден из уравнения обобщенной невязки $\rho_\eta(\alpha) = 0.$ Разрешим это уравнение, например, методом хорд. В случае $h = 0$ (точно заданный оператор) функция $\sigma(\mu) = \rho(1/\mu)$ является монотонно убывающей и выпуклой. Тогда последовательность метода хорд

$$\mu_n = \mu_0 - \frac{\mu_0 - \mu_1}{\sigma(\mu_0) - \sigma(\mu_1)}\sigma(\mu_0),\ \alpha_n = \frac{1}{\mu_n},\ \mu_0 = \mu_1,\ \mu_1 = \mu_n,$$

будет монотонной. Если же $h \neq 0$ и оператор задан с погрешностью, то выпуклость обобщенной невязки может нарушаться и гарантировать монотонность и сходимость последовательности метода хорд нельзя. В этом случае применяется следующая модификация метода хорд:

$$\mu_n = \mu_0 - \frac{\mu_0 - \mu_1}{\sigma(\mu_0) - \sigma(\mu_1)}\sigma(\mu_0),\ \alpha_n = \frac{1}{\mu_n},$$

$$\text{если } \sigma(\mu_0)\sigma(\mu_n) < 0, \text{ то } \mu_1 = \mu_n,$$

$$\text{если } \sigma(\mu_1)\sigma(\mu_n) < 0, \text{ то } \mu_0 = \mu_n.$$

Программная реализация. По материалам данной работы была разработана программа, реализующая вышеописанный подход к регуляризации решения линейного интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода. Результаты работы программы можно оценить как графически – строится график точного решения и полученного регуляризированного, так и аналитически – выводится значения функции $\rho(\alpha)$. В программе есть возможность ручного ввода функции ядра, точного решения, функции правой части, если таковая известна. В противном случае правая часть будет вычислена численно. Преобразование строки, задающей функцию, в функцию программы происходит при помощи обратной польской записи (ОПЗ). При вводе выражения происходит его перевод в вид ОПЗ. Такая форма записи позволяет легко интерпретировать введенные данные и устанавливать приоритеты операций. В программе есть возможность сохранения результатов в файл, а так же считывание правой части из файла.

Список литературы

1. *Тихонов, А. Н.* Методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М. : Наука, 1979. – 284 с.

2. Численные методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов [и др.]. – М. : Наука, 1990. – 230 с.

3. *Воеводин, В. В.* О методе регуляризации // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1969. – Т. 2. – № 3.

УДК 517.929.2

А. А. Айзикович, канд. физ.-мат. наук, доцент
Д. Н. Спичкин, ст. преподаватель
E-mail: pmi@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

О решении разностного уравнения первого порядка, заданном на циклической группе

Рассмотрим разностное уравнение

$$y(x \underset{m}{-} 1) + ky(x) = 0, \tag{1}$$

где y – искомая действительная функция, аргумент которой $x \in Z_m$ – циклической группе по модулю $m \geq 2$; k – постоянный коэффициент, в общем случае комплекснозначный.

При четных m решение уравнения (1) существует при $k = \exp\left(i\dfrac{2\pi p}{m}\right)$ и равно (без учета постоянного сомножителя)

$$y(x) = (-1)^x \exp\left(-i\frac{2\pi p}{m}x\right), \ p \in \{0, \ldots, m-1\};$$

в частности, при $p = 0$ функция $y(x) = (-1)^x$ – решение уравнения

$$y(x \underset{m}{-} 1) + y(x) = 0,$$

а при $p = \dfrac{m}{2}$ функция $y(x) \equiv 1$ – решение уравнения

$$y(x \underset{m}{-} 1) - y(x) = 0. \tag{2}$$

При нечетных m решение уравнения (1) существует при $k = \exp\left(i\dfrac{\pi + 2\pi p}{m}\right)$ и равно

$$y(x) = (-1)^x \exp\left(-i\frac{\pi + 2\pi p}{m}x\right), \ p \in \{0, \ldots, m-1\};$$

в частности, при $p = \dfrac{m-1}{2}$ уравнение имеет вид (2) с решением $y(x) \equiv 1$.

Приведем схему доказательства сформулированных выше утверждений.

© Айзикович А. А., Спичкин Д. Н., 2015

В силу определения разности в Z_m при $x=\overline{1,m-1}$ уравнение (1) является обыкновенным разностным уравнением

$$y(x-1)+ky(x)=0,$$

решение

$$y(x)=(-1)^x k^{-x}$$

которого удовлетворяет краевому условию

$$y(m-1)+ky(0)=0.$$

Отсюда коэффициент k уравнения (1) должен удовлетворять условию $k^m=(-1)^m$, т. е. $k=\sqrt[m]{1}$ при четных m и $k=\sqrt[m]{-1}$ при нечетных m.

Таким образом, при фиксированном m существует m различных уравнений вида (1).

Отметим, что случай действительного коэффициента k рассмотрен в [Трахтман А. М. Основы линейной теории сигналов и систем, определенных на конечном множестве точек // Автоматика и телемеханика. 1974. № 4. С. 81–92].

УДК 004.932.2

И. О. Архипов, канд. техн. наук, доцент
E-mail: po@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Особенности вычисления пространственно-хроматических параметров дискретизированных структурных элементов графического изображения

Одной из важнейших задач анализа графического изображения (ГИ) является определение размеров его структурных элементов [1]. В работах [2, 3, 4] предложено оценивать размеры объектов ГИ с использованием пространственно-хроматических параметров (ПХП) поперечного сечения структурных элементов исследуемого ГИ.

К ПХП относятся масса функции $\left(M\left[f(t)\right]\right)$, центроид функции $\left(C\left[f(t)\right]\right)$, диссипация функции $\left(D\left[f(t)\right]\right)$ и экстент функции $\left(E\left[f(t)\right]\right)$, которые можно вычислить следующим образом

© Архипов И.О., 2015.

$$M[f(t)] = W_0[f(t)], \tag{1}$$

$$C[f(t)] = W_1[f(t)]/M[f(t)], \tag{2}$$

$$D[f(t)] = W_2[f(t)]/M[f(t)] - C^2[f(t)], \tag{3}$$

$$E[f(t)] = 2\sqrt{3D[f(t)]}. \tag{4}$$

Выражения (1)–(4) вычисляются на основе моментов одномерной непрерывной функции $f(t)$

$$W_i[f(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} t^i f(t)dt. \tag{5}$$

В работе [2] показано, что экстент функции $E[f(t)]$ равен ширине поперечного сечения структурного элемента непрерывного изображения b (рис. 1). На рис. 1 сплошной линией показана непрерывная функция $f(t)$ и точками отсчеты дискретной функции $f(nT)$, полученной путем дискретизации функции $f(t)$ с интервалом выборки T. В этом случае ширина поперечного сечения дискретного структурного элемента составит $b = NT$, где N – количество не нулевых отсчетов поперечного сечения дискретного структурного элемента

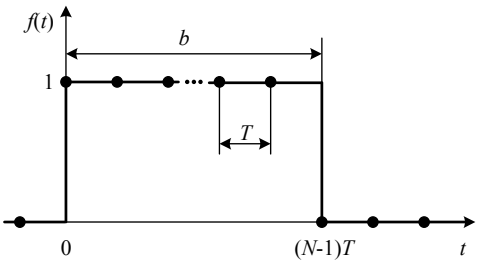


Рис. 1. Пример поперечного сечения структурного элемента графического изображения в инверсной шкале яркостей

Для цифровых изображений при вычислении ПХП по выражениям (1)–(4) в работе [3] вместо моментов непрерывных функций (5) использовались их дискретные эквиваленты

$$W_i[f(n)] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} n^i f(n). \tag{6}$$

В работе [3] сделан вывод о том, что ПХП позволяют оценивать ширину структурного элемента и в случае с цифровыми изображениями. Однако, дальнейшие исследования ПХП [5] показали наличие систематической погрешности при вычислении диссипации дискретного структурного элемента

$$D\left[f(t)\right] = D\left[f(nT)\right] + 0{,}0833 \quad , \tag{7}$$

где $D\left[f(t)\right]$ – значение диссипации непрерывной функции $f(t)$; $D\left[f(nT)\right]$ – значение диссипации дискретной функции $f(nT)$.

Учет погрешности (7) при вычислении диссипации в работе [5] позволил существенно повысить точность оценки ширины поперечного сечения дискретного малоразмерного структурного элемента по сравнению с результатами в работе [3], но причины появления указанной погрешности требуют объяснений.

Теоретически обоснуем значения поправочного слагаемого в выражении (7). Зная, что экстент функции $E\left[f(t)\right]$ равен ширине b непрерывного импульса на рис. 1, то из выражения (4) можно вычислить значение диссипации для этого случая

$$D\left[f(t)\right] = \frac{1}{12}E^2\left[f(t)\right] = \frac{1}{12}b^2 . \tag{8}$$

Для нахождения выражения для ПХП для дискретной функции $f(nT)$, изображенной на рис. 1 следует переписать выражения (6) для моментов дискретной функции используя более строгую форму записи

$$W_i\left[f(nT)\right] = \sum_{n=-\infty}^{\infty}(nT)^i f(nT) . \tag{9}$$

В этом случае первые три момента будут равны:

$$W_0\left[f(nT)\right] = \sum_{n=0}^{N-1} f(nT) = N ; \tag{10}$$

$$W_1\left[f(nT)\right] = \sum_{n=0}^{N-1} nTf(nT) = T\sum_{n=0}^{N-1} n = \frac{T}{2}N(N-1) ; \tag{11}$$

$$\begin{aligned} W_2\left[f(nT)\right] &= \sum_{n=0}^{N-1}(nT)^2 f(nT) = \\ &= T^2\sum_{n=0}^{N-1} n^2 = \frac{T^2}{6}N(N-1)(2N-1). \end{aligned} \tag{12}$$

После подстановки выражений (10)–(12) в формулы (1)–(4) выражения для ПХП принимают вид:

$$M\left[f(nT)\right]=N\,; \tag{13}$$

$$C\left[f(nT)\right]=\frac{T}{2}(N-1)\,; \tag{14}$$

$$D\left[f(nT)\right]=\frac{T^2}{12}N^2-\frac{T^2}{12}=\frac{T^2}{12}(N^2-1)\,; \tag{15}$$

$$E\left[f(nT)\right]=T\sqrt{N^2-1}\,. \tag{16}$$

В выражениях (15) и (16) сделаем замену $N=b/T$

$$D\left[f(nT)\right]=\frac{1}{12}(b^2-T^2)\,; \tag{17}$$

$$E\left[f(nT)\right]=\sqrt{b^2-T^2}\,. \tag{18}$$

Очевидно, что диссипации дискретной функции $D\left[f(nT)\right]$ и её непрерывного прототипа $D\left[f(t)\right]$ должны быть равными. Однако, из выражений (17) и (8) видно, что это не так. Легко показать, что в предельном случае здесь нет противоречий

$$\lim_{T\to 0}D\left[f(nT)\right]=\frac{1}{12}b^2=D\left[f(t)\right]; \tag{19}$$

$$\lim_{T\to 0}E\left[f(nT)\right]=b=E\left[f(t)\right]. \tag{20}$$

Таким образом, ПХП поперечных сечений дискретных и непрерывных структурных элементов совпадают при условии неограниченного роста пространственного разрешения. В случае анализа реального цифрового изображения необходимо использовать поправку (7) в оценке диссипации, найденную эмпирически в работе [5]

Если при вычислении ПХП поперечного сечения дискретного структурного элемента не учитывать пространственное разрешение графического изображения, т. е. принять $T=1$, то выражение (15) можно переписать следующим образом

$$\begin{aligned}D\left[f(nT)\right]&=\frac{1}{12}N^2-\frac{1}{12}=D\left[f(n)\right]-\frac{1}{12}\approx\\&\approx D\left[f(n)\right]-0{,}0833,\end{aligned} \tag{21}$$

что обосновывает значение величины поправки, найденное эмпирически в работе [5].

В работе найдена причина появления погрешности при оценке размеров поперечного сечения дискретных структурных элементов графического изображения по их ПХП [5], которой является конечность пространственного разрешения анализируемого изображения. Доказано, что при неограниченном увеличении пространственного разрешения величина погрешности стремится к нулю. Также доказано, что величина погрешности, найденная эмпирическим способом в работе [5] соответствует теоретическим данным и может быть учтена при анализе реальных графических изображений с ограниченным пространственным разрешением.

Список литературы

1. *Колесникова, Т. А*. Принцип определения размеров структурных элементов объекта отсканированных цифровых изображений / Т. А. Колесникова, Е. Ю. Жук, Ю. И. Федько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Том 2. – № 2 (56). – С. 38–40.

2. *Мурынов, А. И.* Оценка геометрико-топологических параметров деталей изображения на основе метода центроидной фильтрации / А. И. Мурынов, А. М. Вдовин, В. Е. Лялин // Химическая физика и мезоскопия. – Т. 4. – 2002. – № 2. – С. 161–177.

3. *Архипов, И. О.* Моделирование и анализ линейных малоразмерных структурных элементов графических изображений на основе использования пространственно-хроматических параметров // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та имени М. Т. Калашникова. – 2014. – № 2 (62) – С. 149–152.

4. *Архипов И. О.* Анализ размытия графического изображения для оценивания пространственно-хроматических параметров // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 7(35). – С. 14–17.

5. *Архипов И. О.* Повышение точности оценки пространственно-хроматических параметров малоразмерных структурных элементов графического изображения // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 7(35). – С. 18–21.

УДК 550.837

А. Г. Злобина, аспирант
E-mail: ELF54@yandex.ru
Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск

Оценка границ объектов на картах распределения удельного сопротивления методом нечеткой кластеризации

Электроразведка, как один из геофизических методов, широко используется в исследованиях структуры приповехностных слоёв грунта и поиска в них погребённых объектов. Актуальным вопросом является повышение достоверности интерпретации полученных данных.

Одной из измерительных установок, которая позволяет провести площадную съемку, является дипольная экваториальная установка. Ее схема (рис. 1) состоит из 4 электродов, расположенных на расстоянии b друг от друга, два из которых (A_{ij} и B_{ij}) – питающие, через которые вводится электрический ток в грунт; другие два (M_{ij} и N_{ij}) – измерительные, с помощью которых измеряется разность потенциалов на участке. Рассчитывается кажущееся сопротивление грунта, которое относим к точке O_{ij}. В процессе съемки установка перемещается в соответствии с выбранной сеткой измерений, и формируется массив значений УЭС. Эффективная глубина исследований для этой установки равна половине величины b [1].

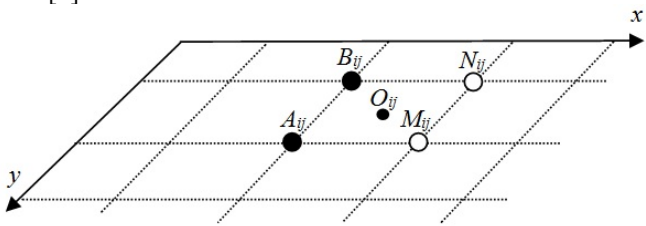


Рис. 1. Схема дипольной экваториальной установки

Границы аномалий на карте распределения УЭС получаются более «размазанными», чем границы самих объектов, вызвовших эти аномалии [2]. Поэтому целесообразно присваивать каждому элементу массива данных показатель от 0 до 1, указывающий на их частичную принадлежность к выделяемым классам, что соответствует идее нечеткой кластеризации.

© Злобина А. Г., 2015

Традиционным методом нечеткой кластеризации является алгоритм Fuzzy c-means. На первом этапе происходит инициализация: задается число кластеров, экспоненциальный вес, параметр останова, случайным образом генерируется матрица нечеткого разбиения. Затем рассчитываются центры кластеров, расстояния от каждого элемента массива данных до каждого центра и пересчитываются элементы матрицы разбиения. Процесс повторяется, пока норма разницы между матрицами разбиения на текущем и предыдущем шаге не будет меньше заданного параметра останова. Данный алгоритм был применен при анализе данных, полученных в ходе модельных экспериментов.

Моделирование проводилось для следующих случаев (рис. 2): параллелепипед, расположенный таким образом, чтобы электроды установки во время проведения съемки проходили через граничные точки объекта; смещенный параллелепипед, через граничные точки которого не проходят электроды установки; прямая треугольная призма.

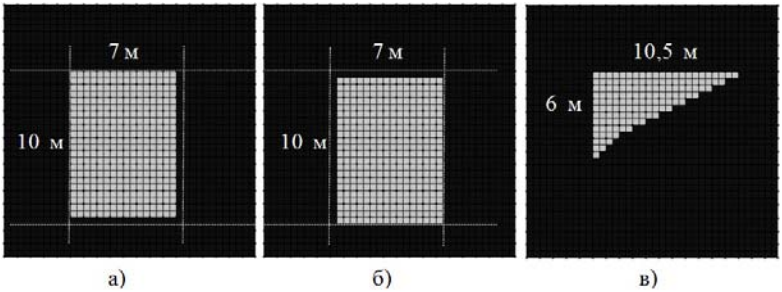


Рис. 2. Горизонтальные сечения моделей: *а* – параллелепипед; *б* – смещенный параллелепипед; *в* – треугольная призма

Анализ полученных данных заключался в восстановлении границы погребённого в грунт объекта по аномалии на карте распределения УЭС. Для этого необходимо выделить аномалию на карте распределения УЭС, классифицировав элементы массива данных по признакам «Фон»/«Объект»; при этом смежные точки класса «Объект» будут соответствовать объекту в грунте; граничные точки класса «Объект» определят возможную границу объекта.

Введем обозначения (рис. 3): глубина погружения объекта – h, высота объекта – H, эффективная глубина исследований – l.

Рассмотрим несколько случаев расположения в грунте объектов и покажем, как изменяется максимальное отклонение полученных границ объекта от истинных относительно величины разноса электродов b при

изменении геометрических параметров моделей и при варьировании *a*-сечением. Под *a*-сечением для двух классов будем понимать следующее выражение: если $P(x|\text{Класс}1) > a$, то x присвоить к классу «Фон», иначе присвоить к классу «Объект».

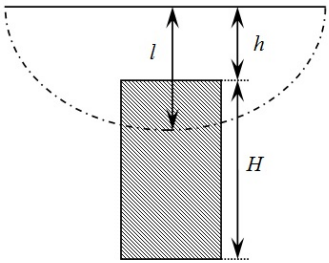


Рис. 3. Условные обозначения рассматриваемых параметров объекта и измерительной установки

Пусть $h > l$. Установим значения $l = 2{,}5$ м, $h = 5$ м, $H = 5$ м. Результаты классификации представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Результаты классификации параллелепипеда (I), смещенного параллелепипеда (II), треугольной призмы (III) при различных *a*-сечениях**

		a = 0,5	a = 0,6	a = 0,7	a = 0,8	a = 0,9	a = 0,95	a = 0,98	a = 0,99
I	классификация	100 %	100 %	100 %	100 %	93 %	92 %	89 %	89 %
	макс. откл. от границ	*b*/2	*b*/2	*b*/2	*b*/2	*b*/2	*b*/2	*b*/2	*b*/2
II	классификация	97 %	99 %	99 %	99 %	99 %	100 %	96 %	93 %
	макс. откл. от границ	b	b	b	b	b	0	b	b
III	классификация	99 %	99 %	97 %	95 %	93 %	92 %	91 %	89 %
	макс. откл. от границ	b	b	2b	2b	2b	3b	3b	4b

Чем больше отношение между глубиной залегания объекта и эффективной глубиной исследования, тем слабее интенсивность аномалии и тем хуже результат классификации при увеличении значения а-сечения. Если отношение расстояния между электродами и глубиной залегания больше 5, то объект не проявляется на картах распределения УЭС, соответсвенно невозможно выделить границу объекта.

Будем увеличивать эффективную глубину исследования при сохранении остальных параметров моделей. Поскольку зависимость измене-

ния результатов классификации качественно не отличается для трех рассматриваемых случаев, результаты приведены только для модели треугольной призмы в табл. 2.

Таблица 2. **Результаты классификации треугольной призмы при различных эффективных глубинах исследования и *a*-сечениях**

условие		a = 0,5	a = 0,6	a = 0,7	a = 0,8	a = 0,9	a = 0,95	a = 0,98	a = 0,99
$H > 1$	клас-ция	99 %	99 %	97 %	95 %	93 %	92 %	91 %	89 %
	max откл. от границ	b	b	2b	2b	2b	3b	3b	4b
$H = 1$	клас-ция	99 %	99 %	99 %	99 %	95 %	94 %	93 %	93 %
	max откл. от границ	b	b	b	b	2b	2b	2b	2b
$h < l < h + H$	клас-ция	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %	94 %	93 %	93 %
	max откл. от границ	b	b	b	b	b	2b	2b	2b
$l = h + H$	клас-ция	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %	94 %	93 %	93 %
	max откл. от границ	b	b	b	b	b	2b	2b	2b
$l > h + H$	клас-ция	98 %	98 %	99 %	99 %	99 %	94 %	93 %	93 %
	max откл. от границ	b	b	b	b	b	2b	2b	2b

При условии, что l значительно превышает сумму $h + H$, интенсивнойсть аномалии будет уменьшаться, и при условии $l/(h + H) > 5$ объект не проявится на карте распределения УЭС.

В ходе модельных экспериментов установлено:

1. Аномалия не фиксируется: а) если отношение высоты погружения тела к расстоянию между электродами больше 5 ($h/b > 5$); б) если отношение глубины исследования к глубине погружения и высоте тела больше 5 ($l/(h + H) > 5$).

2. Результаты классификации существенно не изменяются в диапазоне значений глубины исследования от глубины залегания объекта до глубины залегания и высоты объекта.

3. Максимальное отклонение от истинных границ объекта не выше: а) для параллелепипеда − половины разноса между электродами; б) для смещенного параллелепипеда − разноса между электродами; в) для треугольной призмы − удвоенного разноса между электродами.

Список литературы

1. *Loke, M.* Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys // Geoelectrical Imaging 2D & 3D. – URL: http://www.geoelectrical.com/coursenotes.zip (дата обращения: 16.09.2014).
2. Comparison of Fuzzy Clustering Method and Their Application to Geophysics Data / D. Miller [et al.] // Applied Competition Intelligence and Soft Computing, 2009. – 16 с.

УДК 519.1

А. Г. Ицков, канд. физ.-мат. наук, доцент
E-mail: pmi.istu@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Перечисление одного класса матриц из перестановок

При решении задачи о нахождении нижней оценки максимума модуля определителя Δ_n матрицы n–го порядка, состоящей из ±1, в работе [1] использовался комбинаторно-вероятностный метод. Показано, что решение задачи связано с подсчетом числа матриц размера $2k \times n$, $k = 1, 2, \ldots$, строчки которых образуют перестановки из n элементов с условием, что в каждом столбце элементы входят четное число раз. В работе [2] приведены примеры использования этого метода для $n = 2, 3, 4$. При этом для случая $n = 4$ число матриц было подсчитано с помощью компьютерной программы. Ниже демонстрируется возможность прямого комбинаторного подсчета количества требуемых матриц для случая $k = 3$, $n = 4$, т. е. матриц размера 6×4.

Сформулируем задачу: найти количество матриц с шестью строчками, которые образуют различные перестановки из элементов 1, 2, 3, 4 с условием, что во всех графах элементы входят четное число раз. При этом каждой матрице такого вида соответствует знак «+» или «–», определяемый следующим образом. Знак перестановки находится, как обычно, в зависимости от четности или нечетности числа инверсий. Знак всей матрицы получается «умножением» знаков всех строк.

Решение задачи сводится к разбору нескольких случаев.

Случай 1. Существует графа из шести одинаковых элементов. Очевидно, двух таких граф быть не может, т. к. в оставшихся графах невозможно получить различные строчки. Выбрать столбец из одинаковых элементов можно 4 способами. Сам элемент – также 4 способами. Ос-

© Ицков А. Г., 2015

тавшаяся часть матрицы состоит из 6 различных перестановок из трех элементов. С учетом произвольного порядка расположения этих строк, получаем, что число таких матриц равно $4^2 \cdot 6!$ Всем матрицам соответствует знак «–», т. к. в подматрицу 6×3 входят 3 отрицательные и 3 положительные перестановки.

Случай 2. Существует графа, состоящая из четырех одинаковых элементов и пары других одинаковых элементов. В этом случае не может быть столбца с 6 одинаковыми элементами. Выберем элемент, участвующий в четверке – 4 способа. Обозначим его *a*. Выберем элемент для пары в этой же графе – 3 способа. Обозначим его *b*. Выберем номер графы, содержащий эти элементы – 4 способа. Пусть это первая графа. Расположить элементы *a* и *b* в данной графе можно $C_6^2 = 15$ способами. Пара (*a*, *a*) может быть расположена вне первой графы 3 способами, например, во второй гарфе. Тогда оставшиеся элементы (*c*, *d*) и (*d*, *c*) – 2 способа. Понятно, что четверка из *b* не может стоять ни в какой графе (тогда не будет различных строк). Если пара (*b*, *b*) находится в той же графе, что и (*a*, *a*), то матрица будет нечетной (см. примеры 1,2).

a b c d	*a b c d*
a b d c	*a b d c*
a c b d	*a d b c*
a c d b	*a d c b*
b a c d	*b a c d*
b a d c	*b a d c*
Пример 1	*Пример 2*

Значит (*b*, *b*) стоит в каждом из оставшихся двух граф. Выберем расположение (*b*, *b*) в третьей графе: $C_4^2 = 6$ способов. Теперь, располагая элементы (*c*, *d*) и (*d*, *c*) – по 2 способа, окончательно имеем число таких матриц равно $4 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 15 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 4 = 3^4 \cdot 4^4 \cdot 15$. Все матрицы отрицательны, т. к. строчки разбиваются на пары перестановок, отличающихся одной транспозицией.

Случай 3. Во всех графах находятся только пары одинаковых элементов. Выберем первую графу, т. е. 3 элемента, образующих пары. Число способов $C_4^3 = 4$. Пусть это будут *a*, *b*, *c*. Эти элементы могут расположиться по строчкам $\frac{6!}{2! \cdot 2! \cdot 2!} = 90$ способами. В остальных графах можно образовать тройки (*a*, *b*, *d*), (*a*, *c*, *d*), (*b*, *c*, *d*). Число их расположений есть 3! = 6. Примем для определенности приведенный порядок.

3.1. Предположим сначала, что во второй графе пара (a, a) расположена «напротив» пары (b, b) из первой графы. Тогда в третьей графе пара (a, a) находится напротив (c, c). Располагая оставшиеся элементы с точностью до перестановок, получаем, что число вариантов равно $4 \cdot 90 \cdot 8 = 4!\ 6!$

Если же во второй графе (a, a) расположена напротив (c, c), то элемент c обязан появиться во второй графе, что противоречит выбранному порядку троек. Значит, этот случай невозможен.

Для определения знака матриц заметим, что 3, 4 и 5, 6 строчки отмечаются одной транспозицией. В первых двух строчках перестановки отличаются циклическим сдвигом, следовательно, их знаки одинаковые. Таким образом, общий знак таких матриц «+».

3.2. Пусть теперь во второй графе (a, a) «разбивает» пары (b, b) и (c, c) из первой графы (4 способа). Тогда в третьей графе (a, a) расположена однозначно. Во второй графе должна быть пара (b, b).

3.2.1. Пара (b, b) напротив (a, a) из первой графы. Оставшиеся элементы (d, d), поэтому 4 и 6 строчки заполняются однозначно. Две первые строчки дополняются c, d и d, c (2 варианта). В оставшихся 3 и 5 строчках пишем c, d и d, b. Если же взять d, c в третьей строчке, то матрица не будет четной. Следовательно, в п. 3.2.1 вариантов $4 \cdot 90 \cdot 6 \cdot 4 \cdot 2 = 4!\ 6!$ Все матрицы со знаком «+», т. к. строчки можно разбить на пары, отличающиеся 1, 1, 2 транспозициями соответственно.

3.2.2. Осталось рассмотреть случай, когда (b, b) во второй графе «разбивает» (a, c) из первой графы (2 варианта). Тогда в 4-й графе для (b, b) единственный способ, таким образом, четыре строчки заполнены. Оставшиеся строчки можно заполнить двумя способами. Всего вариантов в п. 3.2.2 $4 \cdot 90 \cdot 6 \cdot 8 = 2 \cdot 4!\ 6!$ Легко проверить, что все матрицы положительны.

Суммируя число вариантов, окончательно имеем: число четных матриц размера 6×4 равно (с учетом знаков): $-11520 - 103680 + 69120 = -46080$.

Если учесть, что в [2] матрицы учитывались с точностью до перестановки строк, то число матриц с фиксированным порядком строк равно $-46080 / 6! = -64$, что совпадает с результатом компьютерных вычислений.

Список литературы

1. *Ицков, А. Г.* О нижней оценке для максимума определителя // Известия Института математики и информатики УдГУ. – 1999. – № 2(17). – С. 102–110.

2. *Ицков, А. Г.* Некоторые примеры вычисления максимума определителя // Вестн. Удм. ун-та. – 2006. – № 1. – С. 71–74.

УДК 535.3

Р. Ю. Кривенков, аспирант
Г. М. Михеев, д-р физ.-мат. наук
Р. Г. Зонов, канд. физ.-мат. наук
В. М. Стяпшин, канд. физ.-мат. наук
Email: roman@udman.ru
Институт механики УрО РАН, г. Ижевск

Автоматизированный комплекс для исследования нелинейно-оптических свойств материалов методом z-сканирования

Одним из интересных нелинейно-оптических явлений является оптическое ограничение мощности [1]. В экспериментах по ООМ наблюдают уменьшение коэффициента нелинейного пропускания среды по мере увеличения плотности мощности падающего излучения. Хорошо известным методом исследования ООМ является так называемая техника *z*-сканирования [2]. Целью данной работы является создание автоматизированного комплекса для исследования ООМ и нелинейного рассеяния света в материалах методом z-сканирования.

Принцип z-сканирования. Методика основана на анализе распределения интенсивности лазерного пучка в дальней зоне, обусловленного нелинейной рефракцией и нелинейным поглощением образца, перемещаемого в области фокусировки в направлении распространения излучения [3]. Основное преимущество данного метода состоит в возможности разделения вкладов нескольких нелинейно-оптических эффектов и простоте их оценки. Так, эффекты нелинейной рефракции, поглощения и рассеяния, в том числе обусловленные нелинейностями различных порядков, могут быть разделены и определены в одном цикле измерений.

Схема автоматизированной установки. Разработанная и созданная система включает в себя (рис. 1) источник лазерных импульсов наносекундной длительности на длине волны 532 нм *I*, оптический измерительный блок *II*, блок автоматизации на базе персонального компьютера *III*.

Источник лазерных импульсов *I* генерирует линейно поляризованное одночастотное излучение TEM_{00} моды на длине волны 532 нм, длитель-

© Кривенков Р. Ю., Михеев Г. М., Зонов Р. Г., Стяпшин В. М., 2015
Работа выполнена при финансовой поддержке УрО РАН (проект 14-1-ИП-64).

ность световых импульсов составляет 12 нс, а параметр лазерного пучка M^2 равен 1.15.

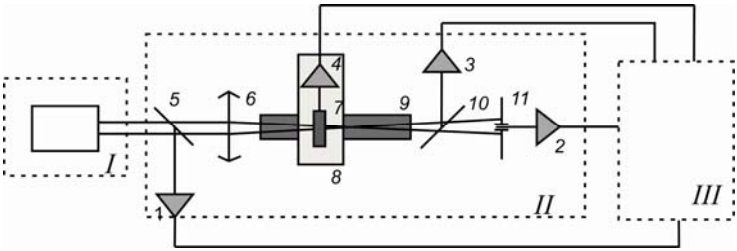


Рис. 1. Оптическая схема эксперимента: *I* – источник лазерных импульсов; *II* – оптический измерительный блок; *III* –блок автоматизации на базе персонального компьютера; *1* – опорный пучок; *2* – проходящий пучок с закрытой диафрагмой; *3* – проходящий пучок с открытой диафрагмой; *4* – рассеянное излучение; *5*, *10* – делительные пластины; *6* – собирающая линза; *7* – исследуемый образец; *8* – платформа; *9* – координатный столик; *11* – диафрагма

Основными частями оптического измерительного блока *II* являются фокусирующая линза *6*, однокоординатный столик *9,* подвижная платформа *8*, с установленным на ней исследуемым образцом *7*, делительные пластины *5, 10*, диафрагма *11* и четыре фотоприемника *1*, *2*, *3*, *4*. Фокусное расстояние линзы *6* составляло 192 мм.

Делительная пластина *5* часть падающего излучения направляет на опорный фотоприемник *1*, а делительная пластина *10* часть проходящего через исследуемый образец излучения направляет на фотоприемник *3*. Основной поток проходящего через кювету излучения проходит через диафрагму *11* и регистрируется фотоприемником *2*. Дополнительный фотоприемник *4* расположен на подвижной платформе *8* и регистрирует энергию лазерных импульсов, рассеянных в исследуемом образце под углом 90° к оптической оси луча лазера.

Таким образом, фотоприемник *1* регистрирует энергию E_{in} падающих лазерных импульсов, фотоприемник *2* – энергию E_{out} проходящих лазерных импульсов в геометрии «с открытой диафрагмой», фотоприемник *3* – энергию $E_{out,\ d}$ проходящих лазерных импульсов в геометрии «с закрытой диафрагмой», а фотоприемник *4* – энергию E_{scat} рассеянных лазерных импульсов. Результирующие значения коэффициентов нелинейного пропускания с закрытой T_d и открытой диафрагмой T и нелинейного рассеяния S соответственно вычисляются по формулам:

$$T_d = \frac{E_{out,d}}{E_{in}}, \qquad (1)$$

$$T = \frac{E_{out}}{E_{in}}, \qquad (2)$$

$$S = \frac{E_{scat}}{E_{in}}. \qquad (3)$$

Блок автоматизации на базе персонального компьютера *III* состоит из системного блока компьютера, платы сопряжения компьютера с лазерной установкой, формирователя импульсов запуска лазера, электронного блока многоканальной системы регистрации лазерных импульсов и монитора. Блок автоматизации служит для одновременной цифровой регистрации энергии лазерных импульсов, поступающих на его входы от пяти фотоприемников, для математической обработки этих сигналов с выводом на монитор графических данных, а также для согласованного управления работой однокоординатного столика и блока питания лазера.

Электронный блок многоканальной системы регистрации лазерных импульсов выполнен по схеме, представленной в [4]. В качестве устройства сопряжения компьютера с лазерной установкой используется плата E14-140M фирмы *L-Card*. На плате установлен 14-разрядный аналого-цифровой преобразователь с максимальной частотой преобразования 200 кГц и различными диапазонами измерения, которые достигаются посредством усиления входного сигнала в 1, 4, 16 и 64 раза. Плата также содержит входные и выходные цифровые линии, совместимые с ТТЛ-логикой.

Программный комплекс. Программа управляет перемещением исследуемого образца относительно перетяжки сфокусированного пучка лазера с помощью однокоординатного стола, включением и выключением лазера и позволяет регистрировать энергию лазерных импульсов по 8 независимым каналам по установленному сценарию. Она осуществляет автоматическое усреднение зарегистрированных значений по заранее заданному числу, записывает и сохраняет полученные данные в формате таблиц csv, производит вычисления коэффициентов нелинейного пропускания T_d и T с закрытой и открытой диафрагмой соответственно, а также нормированное значение S энергии импульса рассеянного излучения по формулам (1 – 3). В программе предусмотрено вывод графиков зависимостей $T_d(z)$, $T(z)$ и $S(z)$ на экран монитора в ходе эксперимента в реальном масштабе времени. Также программа позволяет устанавливать верхний и нижний пороги регистрации энергии лазерных импульсов для выбранного канала, уменьшать шаг передвижения столика Δz на интересующем пользователя интервале (интервалах).

Апробация автоматизированной системы. Разработанный комплекс апробирован при исследовании ООМ в суспензиях наноалмазов детонационного синтеза со средним размером частиц 110 нм. В экспериментах суспензия помещалась в оптическую кювету *7* толщиной 1 мм. Полученные результаты *z*-сканирования представлены на рис. 2. Из него видно, в исследуемых суспензиях отсутствует нелинейная рефракция, а нелинейное поглощение обусловлено нелинейной рассеянием, что находится в соответствии с результатами работы [5].

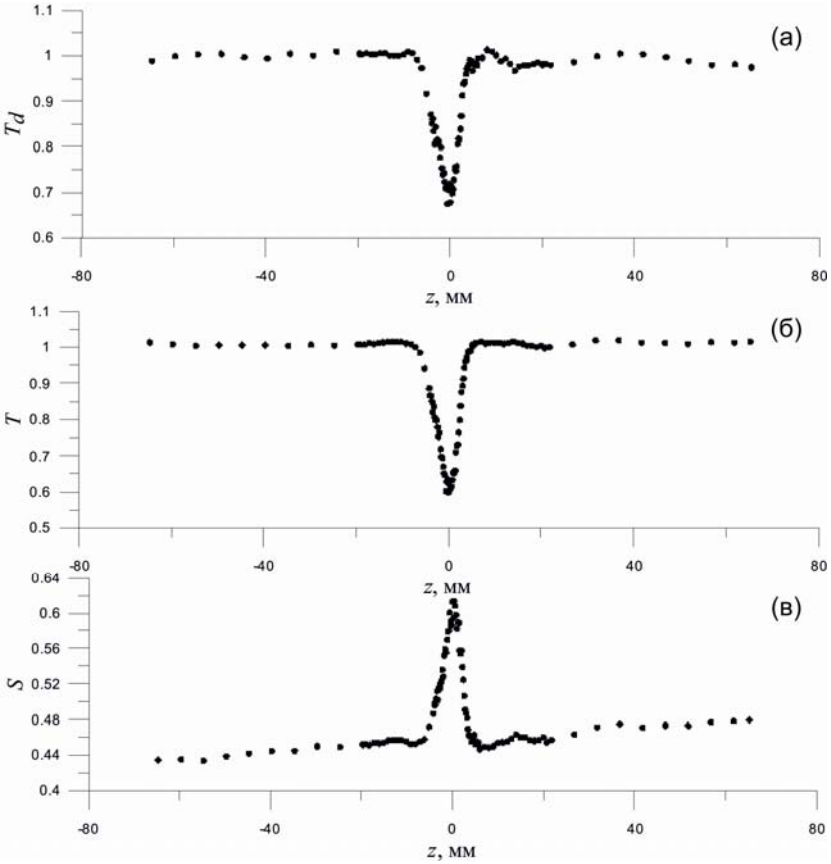


Рис. 2. Зависимости коэффициентов нелинейного пропускания с закрытой (*а*) и открытой (*б*) диафрагмой и нелинейного рассеяния (*в*) в зависимости от положения образца относительно перетяжки

Список литературы

1. *Wang, J.* Carbon nanotubes and nanotube composites for nonlinear optical devices / J. Wang, Y. Chen, J. B. Werner // Journal of Materials Chemistry. – 2009. – Vol. 19. – P. 7425–7443.
2. *Stryland, E. W.* Z-scan measurements of optical nonlinearities / *E. W* Stryland, S. B. Mansoor // Characterization Techniques and Tabulations for Organic Nonlinear Materials, 1998 – P. 655–692.
3. Автоматизированный комплекс для исследования нелинейно-оптических характеристик различных материалов методом z-сканирования / Р. А. Ганеев [и др.] // Приборы и техника эксперимента. – 2002. – № 6. – С. 87–93.
4. *Малеев, Д. И.* Многоканальная система регистрации энергии лазерных импульсов на базе персональной ЭВМ «Электроника БК-0010-01» / Д. И. Малеев, Г. М. Михеев, Т. Н. Могилева // Приборы и техника эксперимента. – 1991. – № 5. – С. 80–83.
5. Size effect on the optical limiting in suspensions of detonation nanodiamond clusters / V. V. Vanyukov [et al.] // Applied Optics. – 2013. – Vol. 52. – P. 4123–4130.

УДК 004.932.72’1

В. В. Люминарский, студент
Т. Е. Шелковникова, студент
E-mail: Vladislav.Lyuminarskiy@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Идентификация СТМ-изображений наночастиц с использованием системы нечеткого логического вывода

В настоящее время существует необходимость разработки методов и средств автоматической идентификации топографических изображений наночастиц, полученных с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Такие изображения обладают рядом недостатков, связанных с особенносями работы сканирующего туннельного микроскопа и методом исследований: отсутствие строго ограниченной шкалы координат, произвольный угол отображения наночастиц, наличие шумов и искажений различной природы. При этом осуществить идентификацию наночастиц прямым сравнением их теоретических и экспериментальных СТМ-изображений практически невозможно.

Следует также учитывать, что не существует универсальных методов идентификации изображений, которые давали бы оптимальное решение

© Люминарский В. В., Шелковникова Т. Е., 2015

во всех предметных областях. Следовательно, возникает необходимость разработки специальных методов. Анализ показал, что в этом случае наиболее перспективными представляются эвристические методы, в частности, методы нечёткого логического вывода.

Нечёткий логический вывод – это аппроксимация зависимости «входы – выход» на основе лингвистических высказываний «если-то» и логических операций над нечёткими множествами [1]:

$$\widetilde{Y} = f(\widetilde{X}), \tag{1}$$

где Y – выходное нечёткое множество; X – вектор входных нечётких множеств.

Типовая структура системы нечёткого логического вывода содержит следующие модули: фаззификатор (преобразует вектор чётких входных переменных в вектор нечётких множеств), нечёткая база знаний (содержит информацию о зависимости (1) в виде лингвистических правил «ЕСЛИ-ТО»), машина нечёткого логического вывода (на основе нечёткой базы знаний определяет значение выходной переменной в виде нечёткого множества Y, соответствующего вектору входных нечётких множеств X), дефаззификатор (преобразует выходное нечёткое множество Y в чёткое число).

В настоящее время разработано несколько систем нечёткого логического вывода: Мамдани, Цукамото, Ларсена, Сугено [2]. В данной работе была использована система нечёткого логического вывода Мамдани, потому что результаты её работы являются легко интерпретируемыми. Нечёткий логический вывод Мамдани выполняется по базе знаний, представленной в следующем виде:

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j}\Theta_j x_2 = \tilde{a}_{2j}\Theta_j \ldots \Theta_j x_n = \tilde{a}_{nj} \text{ с весом } w_j) \to y = \tilde{d}_j, j \in [1, m], \tag{2}$$

где a_{ij} – нечёткий терм, которым оценивается входная переменная x_i в правиле j; d_j – заключение правила j; m – количество правил в базе знаний; Θ_i – логическая операция «И» или «ИЛИ» над нечёткими множествами [1].

Результат логического вывода по всей базе знаний находят агрегированием нечётких множеств – заключением правил базы знаний:

$$\widetilde{Y} = agg(\widetilde{d}_1, \ldots, \widetilde{d}_m). \tag{3}$$

Зададим терм-множества, соответствующие входным и выходной переменным. Входными данными в проектируемой системе нечёткого логического вывода являются полутоновые изображения. Следовательно, необходимо ввести две входные переменные, отражающие положение рассматриваемой точки входного изображения, и одну выходную переменную, отражающую эталонное значения яркости в этой точке.

Графическое представление терм-множества, соответствующего входным переменным, представлено на рис. 1, *а*. На рис. 1, *б* представлено терм-множество, соответствующее выходной переменной. Терм-множества входных и выходной переменной состоят из следующих термов: «НИЗКИЙ» (Н), «НИЖЕ СРЕДНЕГО» (НС), «СРЕДНИЙ» (С), «ВЫШЕ СРЕДНЕГО» (ВС), «ВЫСОКИЙ» (В). Диапазон значений входных переменных соответствует размеру изображения, отражающего эталонную зависимость (1), и может быть представлен как [1; n], где n – размерность эталонного изображения. Диапазон значений выходной переменной соответствует диапазону яркости полутонового изображения и может быть представлен как [0; 255].

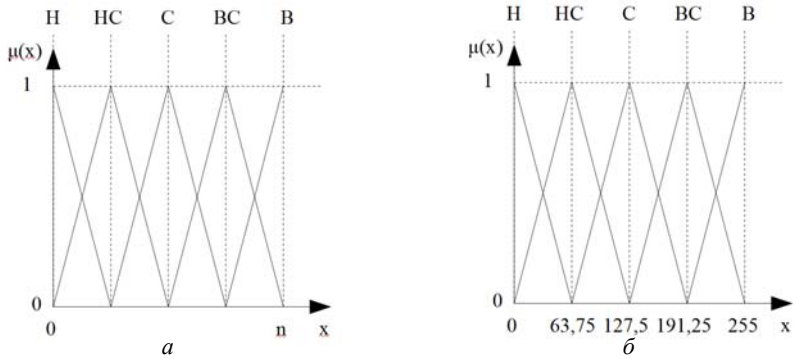


Рис. 1. Терм-множества: *а* –входных переменных; *б* – выходной переменной

Зададим эталонную зависимость (1), отражающую модель изображения наночастицы, в виде нечёткой базы знаний:

$$\begin{aligned}
&ЕСЛИ \quad X_1 = H \quad И \quad X_2 = H, \quad ТО \quad Y = H;\\
&ЕСЛИ \quad X_1 = H \quad И \quad X_2 = HC, \quad ТО \quad Y = HC;\\
&ЕСЛИ \quad X_1 = H \quad И \quad X_2 = C, \quad ТО \quad Y = C;\\
&\vdots\\
&ЕСЛИ \quad X_1 = B \quad И \quad X_2 = B, \quad ТО \quad Y = H.
\end{aligned} \tag{4}$$

Зависимость (1), заданная нечёткой базой знаний (4), представлена в графическом виде на рис. 2.

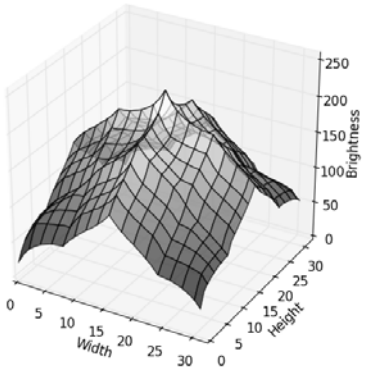
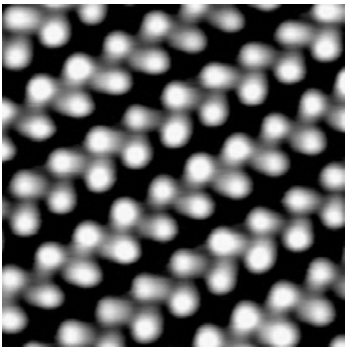
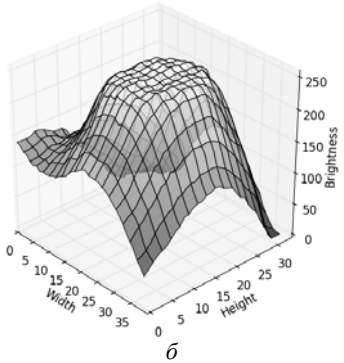


Рис. 2. Графическое представление нечёткой базы знаний

Для демонстрации работы системы нечёткого логического вывода Мамдани, основанной на нечёткой базе знаний, описанной выше, было выбрано изображение атомов золота, представленное на рис. 3, *а*. Графическое представление атома золота представлено на рис. 3, *б*.



а



б

Рис. 3. Атомы золота: *а* – двумерное изображение;
б – трехмерное представление одного атома

Обработаем исходное изображение. Для этого установим размерность эталонного изображение n = 32 и зададим диапазоны значений термов входных переменных: H = [–8; 8]; HC = [0; 16]; C = [8; 24]; BC = [16; 32]; B = [24; 40]. Примем веса всех правил равными единице. Результат обработки изображения представлен на рис. 4, где каждый пиксель пставляет собой степень принадлежности пикселя исходного изображения к зависимости (1), представленой на рис. 2.

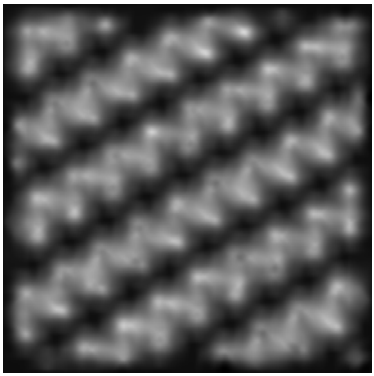


Рис. 4. Результат работы разработанной системы

Проанализируем результаты работы системы. Максимальная степень принадлежности равна 84,3 %, при этом с такой степенью на исходном изображения распознаётся один атом золота. Всего же на исходном изображении расположено 69 атомов золота. Зависимость процента распознанных атомов от степени принадлежности в результирующем изображении представлена в таблице.

Результаты работы системы

Степень принадлежности, %	Процент распознавания, %
> 90	0
> 80	4,3
> 75	8,7
> 70	37,7
> 65	66,7
> 60	88,4

Следует отметить, что с уменьшением степени принадлежности растёт процент распознавания. Это достигается за счёт «размытия» областей, в которых могут располагаться атомы. Это означает, что с уменьшением степени принадлежности также повышается количество ложно распознанных атомов вплоть до того, что становится невозможным различить отдельные атомы: области, в которых могут располагаться атомы, сливаются. Поэтому следует руководствоваться результатами с более высокой степенью принадлежности.

Анализ показал, что максимальная степень принадлежности равна ~84,3 %. Такая низкая величина объясняется различием между математической моделью атома, представленной системой нечёткого логиче-

ского вывода и изображенной на рис. 2, и реальным изображением атома, представленным на рис. 3, *б*.

В качестве дальнейшего развития идеи идентификации СТМ-изображений наночастиц с использованием системы нечёткого логического вывода следует рассмотреть способы повышения качества распознавания. Это может быть достигнуто с помощью применения методов оптимизации.

Список литературы

1. *Штовба, С. Д.* Проектирование нечетких систем средставми MATLAB. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
2. *Леоненков, А. В.* Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб. : БХВ-Перетбург, 2005. – 736 с.
3. *Кофман, А.* Введение в теорию нечётких множеств. – М. : Радио и связь, 1982. – 432 с.

УДК 539.261

С. М. Мокрова, вед. программист
E-mail: fti@udm.ru
Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск

Методика фильтрации артефактов на прямой полюсной фигуре, обусловленных качеством антикатода рентгеновской трубки

Свойства материалов во многом определяются их текстурой. Поэтому задача текстурных исследований является актуальной для практики. Одним из подходов при исследовании текстуры являются методы, основанные на анализе прямых полюсных фигур (ППФ), в частности, метод, основанный на объектно-векторном представлении плоскостей отражения [1, 2].

При исследовании процессов вторичной рекристаллизации холоднокатаной алюминиевой фольги с высокой степенью обжатия были обработаны ППФ, снятые для различных технологических параметров отжига [1, 3].

Кроме того, с целью оценки качества полученных ранее результатов, было предложено оценить текстуру тестового образца монокристалла Al по его полюсной фигуре. Съемка образца выполнялась по методу

© Мокрова С. М., 2015

Шульца на отражение в K_{α}^{Fe} излучении для семейства плоскостей $\{111\}$. Данная ППФ показана на рис.1.

В результате обработки ППФ монокристалла Al с помощью программы анализа текстурных компонент [1] определена ориентация монокристалла по множеству полюсов p_{111} относительно системы координат прибора, при этом остались полюса, которые не удалось идентифицировать. Поэтому возникает вопрос об источниках появления этих полюсов, обозначенных на рис. 1 символами p_q.

Возможными источниками появления множества полюсов p_q являются воздействия каких-то дополнительных рентгеновских характеристических излучений Fe антикатода. Можно также предположить, что сказывается воздействие характеристического излучения от загрязнения материала антикатода вольфрамом [4] или разрушение Fe-покрытия антикатода и появление характеристических линий K_{α}^{Cu}.

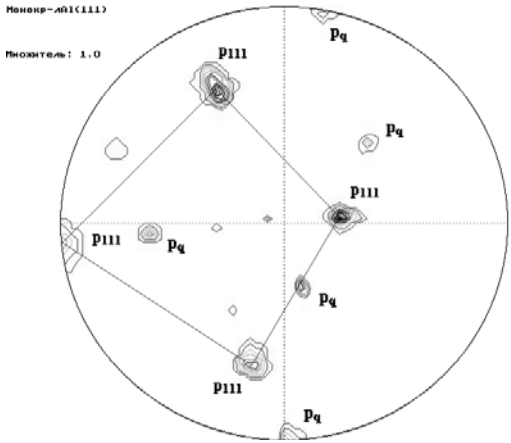


Рис. 1. Исходная ППФ монокристалла Al, где p_{111} – полюса, соответствующие семейству плоскостей $\{111\}$; p_q – неидентифицированные полюса. Линиями схематически показана группа полюсов семейства $\{111\}$

Для проверки этих гипотез выполнен анализ влияния каждого дополнительного источника излучения с помощью уравнения Вульфа – Брегга:

$$n\lambda = 2d_{(hkl)} \sin\theta, \qquad (1)$$

где d – межплоскостное расстояние, для кубической решетки $d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$; a – период решетки, $a_{\text{Al}} = 4{,}0494$ Å; $\{hkl\}$ – индексы Миллера плоскостей отражения; θ – угол между падающим лучом и плоскостью решетки; λ – длина падающей волны характеристического излучения.

Для съемки семейства $\{111\}$ из уравнения (1) вычисляется угол θ при $n = 1$, т. е. $\theta_{(111)}^{\text{Fe}} = \arcsin(\frac{\lambda_{K\alpha}^{\text{Fe}}}{2d_{(111)}})$, где $\lambda_{K\alpha}^{\text{Fe}} = \frac{2\lambda_{K\alpha1}^{\text{Fe}} + \lambda_{K\alpha2}^{\text{Fe}}}{3}$, а $\lambda_{K\alpha1}^{\text{Fe}}, \lambda_{K\alpha2}^{\text{Fe}}$ – длины волн характеристического излучения $K_{\alpha1}, K_{\alpha2}$, железа соответственно. Вычисленное значение угла устанавливается на приборе и производится съемка ППФ.

Из (1) следует, что

$$\sin\theta_{(111)}^{\text{Fe}} = \frac{\lambda_{K\alpha}^{\text{Fe}}}{2d_{(111)}}. \qquad (2)$$

Учитывая, что установленный угол $\theta_{(111)}^{\text{Fe}}$ остается постоянным, запишем для произвольных $\{hkl\}$, соответственно $d_{\{hkl\}}$, и предполагаемых длин волн λ характеристического излучения

$$\sin\theta_{(111)}^{\text{Fe}} = \frac{n\lambda}{2d_{(hkl)}}, \qquad (3)$$

где $n = \ldots, 1/2,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots$

Приравняв правые части выражений (2) и (3), и сгруппировав длины волн и межплоскостные расстояния, получим

$$\frac{\lambda_{K\alpha}^{\text{Fe}}}{\lambda} = \frac{nd_{(111)}}{d_{(hkl)}}. \qquad (4)$$

Для материалов, приведенных в таблице, по справочникам определялись основные длины волн λ (серии $K_\alpha, K_\beta, L_\alpha$), варьировалось значение n, для каждого из этих параметров перебиралось семейство $\{hkl\}$ (порядок плоскостей – от 1 до 10) и формировался массив значений

$$\varepsilon_i\left(\lambda, d_{(hkl)}, n\right) = \left|\frac{\lambda_{K\alpha}^{\mathrm{Fe}}}{\lambda} - \frac{nd_{(111)}}{d_{(hkl)}}\right|, \quad \text{где } i = 1, 2, \ldots \tag{5}$$

Далее в этом массиве выполнялся поиск $\min \varepsilon_i$, который соответствует искомым значениям $\lambda, d_{(hkl)}, n$. В частности, минимум выражению (5) (равно 0,00089) доставляют плоскости, близкие к семейству $\{133\}$, $\lambda_{K\alpha}^{\mathrm{Cu}} = 1{,}542$ Å и $n = 1/2$.

Значения некоторых параметров для оценки $\varepsilon_i(\lambda, d_{(hkl)}, n)$

Плоскости отражения {hkl}	$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$	Медь		Вольфрам		Железо	
		$\sin\theta_{K\alpha}$	$\sin\theta_{K\beta}$	$\sin\theta_{K\alpha}$	$\sin\theta_{K\beta}$	$\sin\theta_{K\alpha}$	$\sin\theta_{K\beta}$
111	**2,338**	0,330	0,298	0,045	0,039	**0,414**	0,376
220	1,432	0,538	0,486	0,074	0,064	–	0,613
311	1,221	0,631	0,570	0,086	0,076	–	0,719
133	**0,929**	**0,830**	0,749	0,113	0,099	–	0,945

Таким образом, были найдены индексы Миллера дополнительных полюсов – плоскости $\{133\}$, и выбрано характеристическое излучение, соответствующее K_{α}^{Cu}. Откуда условие Вульфа – Брега появления дополнительных полюсов на ППФ:

$$\frac{1}{2}\lambda_{K\alpha}^{\mathrm{Cu}} \approx 2d_{(133)} \sin\theta_{(111)}^{\mathrm{Fe}}. \tag{6}$$

Физически $n = 1/2$ в выражении (6) означает, что условия отражения соблюдаются для каждой второй плоскости семейства $\{133\}$ для K_{α}^{Cu}. Абсолютная угловая ошибка для подобранных значений $\lambda_{K\alpha}^{\mathrm{Cu}}, n$ и $\{133\}$ равна 0,12° относительно установленного угла для $\lambda_{K\alpha}^{\mathrm{Fe}}$.

С целью проверки полученного результата проведен также анализ ППФ с помощью программы анализа текстурных компонент. При этом найдено 1116 ориентаций семейства $\{111\}$ и 349 ориентаций $\{133\}$.

Кроме того, для визуального представления построены стереографические проекции дуг окружностей на единичной сфере, соответствующих углам между смежными полюсами [2]. На рис. 2 показаны линии,

проходящие через полюса семейства $\{133\}$, где дуга радиуса 63°, проведенная из центра в полюсе p^2_{133}, проходит через полюса p^1_{133}, p^3_{133}. А дуга этого же радиуса, проведенная из центров полюсов p^1_{133}, p^3_{133}, проходит через полюс p^2_{133}. Это лишний раз подтверждает, что на ППФ действительно присутствуют полюса семейства $\{133\}$.

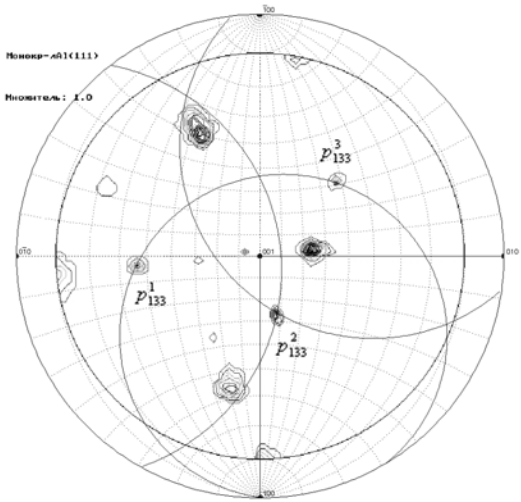


Рис. 2. Стереографические проекции дуг окружностей, соответствующих углам между смежными полюсами семейства $\{133\}$.

На основе проведенного анализа показано, что на прямой полюсной фигуре монокристалла Al наблюдаются дополнительные полюса, которые обусловлены частичным разрушением Fe – покрытия антикатода и воздействием характеристического излучения K_α его медной основы. Исходя их знания $\lambda^{Cu}_{K\alpha}$, определены индексы плоскостей $\{133\}$.

Гипотеза о наличии полюсов $\{133\}$ подтверждается также по результатам обработки ППФ данного монокристалла Al с помощью программы текстурного анализа [1].

Таким образом, установлено, что причиной появления дополнительных полюсов является отработавшая свой срок рентгеновская трубка и отсутствие монохроматора (фильтра).

Хотя выявленные артефакты (ложные полюса) затрудняют анализ текстурных компонент материалов, идентификация этих полюсов по предложенной методике позволяет отфильтровать их (удалить из исходной ППФ) и без повторной трудоемкой съемки ППФ образца сохранить информацию об ориентации монокристалла Al .

Список литературы

1. Анализ текстурных компонент металлов по прямым полюсным фигурам на основе объектно-векторного представления плоскостей отражения / С. М. Мокрова [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2014. – Т. 80. – № 5. – С. 30–34.
2. Компьютерный анализ кристаллографических текстур по прямым полюсным фигурам / С. М. Мокрова [и др.] // Материаловедение. – 2011. – № 10. – С. 34–37.
3. Текстурные преобразования при отжиге алюминиевых фольг. 1.Сильные текстурные компоненты / Д. Б. Титоров [и др.] // ФММ. – 2006. – Т. 102. № 1. – С. 1–7.
4. *Гинье, А.* Рентгенография кристаллов. Теория и практика. – М. : Физматлит, 1961. – 604 с.

УДК 621.314

А. В. Морозов [1], аспирант
Башар Салама, магистрант
E-mail: [1] avmoroz16@rambler.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Сравнение алгоритмов управления матричным преобразователем частоты

Матричный преобразователь частоты – это универсальный преобразователь электрической энергии, применяемый для питания двигателей переменного тока [1]. Существующие алгоритмы управления матрицей силовых ключей для микропроцессорной реализации, имеют свои достоинства и недостатки.

© Морозов А. В., Башар Салама, 2015

Одной из задач при разработке способов управления матричными преобразователями частоты (МПЧ) является получение неискаженных синусоидальных выходных напряжений и входных токов преобразователя. В настоящее время известна классификация алгоритмов на следующие основные группы: скалярные, пространственно-векторные, методы «непрямого преобразования» и другие [2]. С целью сравнения характеристик МПЧ при использовании различных алгоритмов управления была применена среда *Simulink MATLAB*. Создание силовой части преобразователя производилось с использованием библиотеки *SimPowerSystem* [3]. Для исследования были реализованы два алгоритма управления: алгоритм «непрямого преобразования» и метод Вентурини.

На рис. 1 представлена *Simulink*-модель МПЧ, работающего в режиме управления, при котором коммутационная матрица разделена на «выпрямительную» и «инверторную» составляющие. Питание фаз нагрузки осуществляется от максимального мгновенного линейного напряжения. Данный режим обеспечивается формированием синхроимпульсов, разрешающих открывание соответствующих ключей, т. е. фактически выпрямлением напряжения сети. Число синхроимпульсов соответствуют шести интервалам коммутации за один период сетевого напряжения как при управлении тиристорным выпрямителем. Этот способ управления выбран для моделирования как наиболее простой [4]. Кроме того, при таком управлении появляется возможность регулировать начальную фазу потребляемого тока и следовательно коэффициент мощности МПЧ. *Simulink*-модель содержит генератор сетевого напряжения *1* с преобразователями *Controlled voltage source* 2, датчики входных и выходных токов *3* и *12*, измеритель мощности *Power meter* с дисплеями *4*, блок *simout 5*, RL потребитель *6*, блок коррекции *7*, управляющий контроллер с блоком регулирования фазы синхроимпульсов *8*, LC-фильтр *9*, матрицу ключей *10*, асинхронный двигатель с измерительным выходом *11*, блок *Powergui 13*.

Другой вариант *Simulink*-модели, рис. 2, отличается от предыдущего системой управления и содержит: генератор сетевых напряжений с преобразователями *Control Voltage Source 1* и выходом таймера *7* для синхронизации системы управления с сетью; *2*, *3* – блоки генерации синусоидальных функций, см. выражения (1), (2) и блок задания амплитуды выходного напряжения *4*. Далее сигналы обрабатываются вычислителями опорных сигналов *5* согласно выражению (1) и поступают на формирователь ШИМ импульсов *6*. Схема управления ключами реализует алгоритм Вентурини с добавлением третьих гармоник [1, 5]. Время включения ключа на пересечении К стороки и j столбца матрицы рассчитывается согласно (1). Данный способ управления позволяет по-

лучать выходные напряжения амплитудой до 0,86 амплитуды напряжения сети.

$$t_{Kj} = \frac{T}{3}\left[1 + \frac{2\nu_K \nu_j}{V_{im}^2} + \frac{2q}{3q_m}\sin(\omega_i t + \beta_K)\sin(3\omega_i t)\right], \qquad (1)$$

где $K = \{A, B, C\}$, $j = \{a, b, c\}$, $\beta_K = \{0, \frac{2\pi}{3}, \frac{4\pi}{3}\}$, T – период модуляции,

$$[\nu_j(t)] = qV_{im}\begin{bmatrix} \cos(\omega_0) - \frac{1}{6}\cos(3\omega_0 t) + \frac{1}{2\sqrt{3}}\cos(3\omega_0 t) \\ \cos\left(\omega_0 + \frac{2\pi}{3}\right) - \frac{1}{6}\cos(3\omega_0 t) + \frac{1}{2\sqrt{3}}\cos(3\omega_0 t) \\ \cos\left(\omega_0 + \frac{4\pi}{3}\right) - \frac{1}{6}\cos(3\omega_0 t) + \frac{1}{2\sqrt{3}}\cos(3\omega_0 t) \end{bmatrix}, \qquad (2)$$

На рис. 3 представлены осциллограммы и частотные спектры выходных напряжений обоих схем при частоте основной гармоники 10 Гц. В выходном напряжении первой схемы присутствуют гармонические составляющие $30n \pm 1$ порядка амплитудой до 6 % от основной гармоники, вызванные регулированием фазы синхроимпульсов. Во второй схеме генерируются высшие гармоники *9*, *11* порядков амплитудой до 17 %.

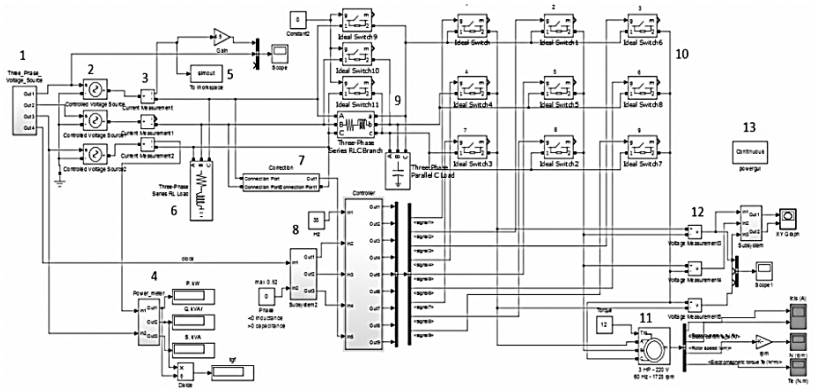


Рис. 1. Simulink модель матричного преобразователя частоты

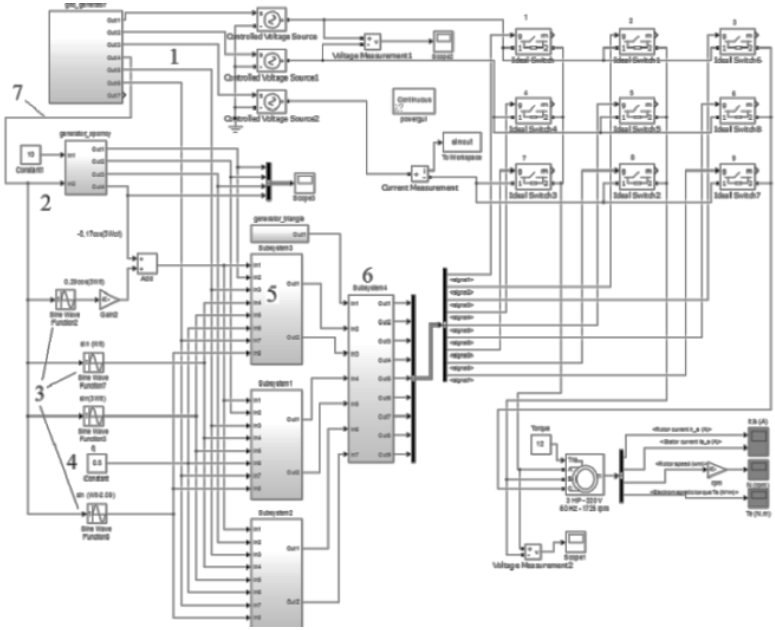


Рис. 2. Преобразователь частоты с системой управления на основе алгоритма Вентурини

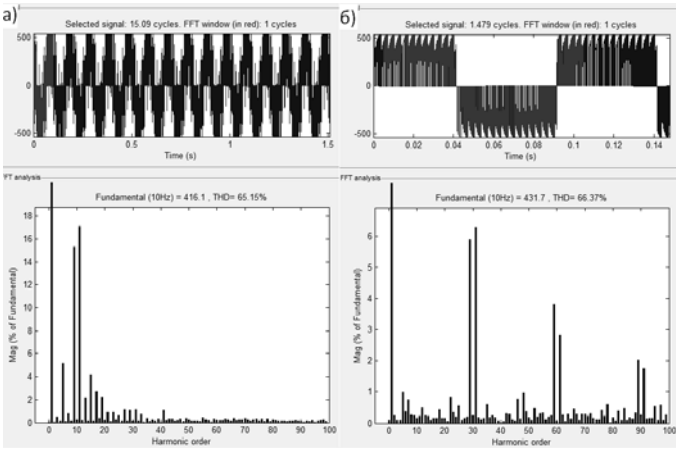


Рис. 3. Осциллограмма и спектральный состав выходного напряжения при применении: метода модуляции Вентурини (*а*); алгоритма «непрямого преобразования» (*б*)

Частотные спектры входных токов, рис. 4, показали, что в первой схеме присутствуют гармоники $6n \pm 1$ порядка амплитудой до 25 %, в то время как токи во второй схеме содержат минимальный уровень искажающих составляющих, не считая боковых полос ШИМ частотой около 2 кГц.

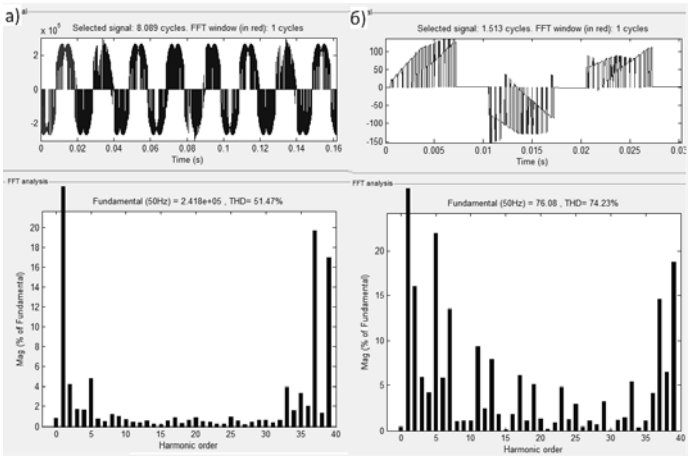


Рис. 4. Осциллограмма и спектральный состав входного тока при применении: *а* – метода модуляции Вентурини; *б* – алгоритма «непрямого преобразования»

Произведено исследование способов управления матричным преобразователем частоты для электродвигателя на примере алгоритма Вентурини и простейшего «непрямого преобразования». Использование алгоритма Вентурини позволяет добиться практически идеальной электромагнитной совместимости с питающей сетью даже при отсутствии входного LC-фильтра. Вместе с этим отмечаются ухудшения качества выходного напряжения, вызванные, возможно, погрешностями в реализации системы управления.

Список литературы

1. *Морозов, А. В.* Разработка матричного преобразователя частоты / А. В. Морозов, В. К. Барсуков, В. А. Морозов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2 (22). – С. 202–207.

2. *Wheeler, P. W.* Matrix Converters: A Technology Review // Industrial Electronics, IEEE Transactions on. – 2002. – № 4. – Pp. 276–288.

3. *Дьяконов, В.* Макромоделирование устройств на мощных MOSFET в SimPowerSystems // Силовая электроника. – 2011. – № 2.

4. *Сидоров, С.* Матричный преобразователь частоты – объект скалярного управления // Силовая электроника. – 2009. – № 3. – С. 31–35.
5. *Karaca, H.* Control of Venturini method based matrix converter in input voltage variations / H. Karaca, R. Akkaya // Proceedings of the international multiconference of engineers and computer Scientists. – 2009. – 09. Vol. II.

УДК 528.85:517.44

А. И. Назмутдинова, аспирант
В. Н. Милич, канд. техн. наук
E-mail: phti@udm.ru
Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск

Использование вейвлет-преобразования при анализе многозональных изображений объектов лесной растительности

Многозональные космические снимки широко и достаточно давно применяются для решения разнообразных задач. Необходимость разработки новых методов обусловлена тем, что съемочные системы постоянно совершенствуются, благодаря чему качество снимков становится все более высоким, что, в свою очередь, позволяет извлекать большое количество полезной информации.

Вейвлет-преобразование является инструментом анализа сигналов, который позволяет характеризовать сигнал как в частотной, так и в пространственной области. Именно это свойство позволяет характеризовать исходное изображение достаточно полно [1]. Схема, используемая в этой работе, предполагает применение вейвлет-преобразования к каждому из образцов обучения и тестирования. Затем из преобразованного изображения вычисляются простейшие статистические характеристики, такие как среднее значение и стандартное отклонение. В данной работе дискретное двумерное вейвлет-преобразование (ДВТ) осуществляется по стандартной схеме Малла [2], общий принцип работы который представлен на рис. 1.

Суть работы схемы, приведенной на рис. 1, сводится к тому, что вейвлет-преобразование осуществляется сначала для всех строк изображения, а затем для всех столбцов. При этом каждое применение ДВТ означает применение низкочастного (НЧФ) и высокочастотного фильтров (ВЧФ), конкретный вид которых определяется применяемой вейвлет-функцией [3]. В настоящей работе рассматриваются вейвлеты Хаара,

© Назмутдинова А. И., Милич В. Н., 2015

Добеши, Добеши 3-го порядка, койфлет, симмлет. Формула (1) представляет коэффициенты, описывающие вейвлет-функцию Добеши:

$$d_1 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}},\ d_2 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}},\ d_3 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}},\ d_4 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}. \quad (1)$$

В результате исходное изображение разбивается на 4 подизображения: А – изображение аппроксимации (изображение, соответствующее исходному более сглаженному изображению, лишенного высоких частот), Г – изображение, отображающее горизонтальные детали исходного изображения, В – изображение вертикальных деталей, Д соответствует диагональным деталям изображения. Описанное преобразование соответствует первому уровню ДВТ. Второй уровень получается в результате аналогичного преобразования, примененного к изображению аппроксимации. Подобным образом можно проделывать данную операцию несколько раз, получая все новый уровень преобразования.

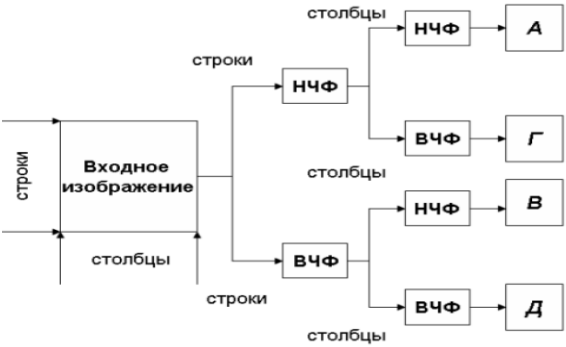


Рис. 1. Стандартная схема Малла двумерного дискретного вейвлет-преобразования

Рассматриваемый метод предполагает для каждого из полученных подизображений подсчет среднего значения и стандартного отклонения

Таким описанным выше способом происходит построение вектора признаков. Далее наступает этап принятия решения, который реализован в настоящей работе с помощью одного из наиболее популярных и простых методов классификации – метода минимального расстояния.

Представленный метод был реализован в среде программирования *Python*. Работа полученного метода была протестирована при классификации 6 классов объектов 4-канального снимка *QuickBird* на территорию

Удмуртской Республики. Количество тестовых образцов для классификации объектов снимка равно десяти.

Шестью исследуемыми классами являются: 1) хвойный лес, 2) лиственный лес, 3) смешанный лес, 4) старые вырубки с порослью, 5) новые вырубки без поросли, 6) лес с остатками снега. В табл. 1 представлены результаты классификации, проводимой с признаками, построенными на основании двухуровневого вейвлет-преобразования Добеши.

Процент успешной классификации, как видно из табл. 1, колеблется от 80 до 100 %, что являтся достаточно высоким показателем точности классификации.

Таблица 1. **Результаты классификации объектов снимка QuickBird**

Название класса	Процент успешной классификации, %
Хвойный лес	100
Лиственный лес	100
Смешанный лес	100
Старые вырубки с порослью	100
Новые вырубки без поросли	80
Лес с остатками снега	100

Кроме того, эта же схема была протестирована и на другом снимке по территории центральной части Удмуртской Республики. Этот снимок, сделанный съемочной системой Rapid Eye [4], имеет 5 спектральных полос и пространственное разрешение 5 м. Для исследования было выбрано 6 классов объектов: 1) Береза, сосна; 2) Береза, осина; 3) Ель. Сомкнувшиеся культуры; 4) Ель. Несомкнувшиеся культуры; 5) Липа, береза, осина; 6) Осина, береза, липа, ива древовидная.

В табл. 2 представлены результаты классификации, где признаки также были построены на основании двухуровневого вейвлет-преобразования Добеши.

Результаты, указанные в табл. 2, вновь изменяются в диапазоне от 80 до 100 %, что подтверждает эффективность полученных признаков.

Таблица 2. **Результаты классификации объектов снимка Rapid Eye**

Название класса	Процент успешной классификации, %
Береза, сосна	100
Береза, осина	100
Ель. Сомкнувшиеся культуры	80
Ель. Несомкнувшиеся культуры	100
Липа, береза, осина	80
Осина, береза, липа, ива древовидная	80

В результате проделанной работы и проведенных экспериментов на двух многоканальных снимках можно сделать следующие выводы:

1. Реализован метод, позволяющий вычислять признаки на основе вейвлет-преобразования, проводить обучение классификатора и принимать решение.

2. Обучающие и тестовые образцы не пересекаются, что свидетельствует о надежности полученных результатов.

3. При классификации объектов лесной растительности на снимке QuickBird наиболее эффективными признаками являются признаки, построенные на основе двухуровневого вейвлет-преобразования Добеши.

4. Наиболее высокий результат достигается при использовании углового расстояния в классификаторе минимального расстояния.

Список литературы

1. *Чен, Дж.* Классификация изображений дистанционного зондирования на основе вейвлетов: Сравнительное изучение различных наборов признаков при работе с объектами в городской среде / Дж. Чен, Д. Чен, Д. Блостейн // Journal of Environmental Informatics. – 2007. – 10(1). – P. 2–9.

2. *Гонсалес, Р.* Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – 3-е изд., исправ. и доп. – М. : Техносфера, 2012. – 1104 с.

3. *Шовенгердт, Р. А.* Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений. – М. : Техносфера, 2010.

4. Спутники RapidEye // Данные дистанционного зондирования земли со спутников RAPIDEYE Россия. – URL: http://www.rapideye-satellite.ru/satellites.html (дата обращения: 05.10.2014).

УДК 519.177

О. М. Немцова, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
Д. В. Малюгин, канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
E-mail: olganemtsova@nm.ru
Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск

Спектральный анализ в обратной задаче электроразведки

В настоящее время существуют различные методы решения задач электроразведки [1]. Как правило, они учитывают специфику каждой конкретной задачи и опираются на классические методы теории рассеяния [2]. В данной работе предлагается новая концепция представления данных электроразведки в виде структурированного графа со стационарным потоком данных. Для проверки адаптивности предложенной дискретной модели сплошной среды рассчитаны модели однородной среды с точечным источником на поверхности и модель слоистой среды, для которых рассчитаны резистивные матрицы и выполнен спектральный анализ обратной задачи.

Перспективным представляется подход, связанный с измерением эффективных сопротивлений (резистенсов) между заданными точками среды. Показано, что если взвешенный граф представляет собой электрическую сеть, то миноры матрицы Кирхгофа позволяют вычислить *резистивное расстояние* (resistance distance) R_{ij} между точками i и j данной сети: $R_{ij} = K^{i,j}/K_{ij}$, здесь K_{ij} – постоянная матрицы Кирхгофа, а $K^{i,j}$ – определитель матрицы, получающейся из матрицы Кирхгофа вычеркиванием строки i и столбца j. Построенная матрица резистенсов содержит всю информацию об исследуемой среде и, как показано в работе, может быть использована для расчета параметров неоднородной среды.

Предложена оригинальная методика анализа резистивной матрицы с использованием теории спектрального анализа. Вводится понятие дискретного лапласиана графа, который определяется через функцию расстояния между вершинами графа, т. е. сумма на ближайших соседях одной вершины. Для графа с конечным количеством вершин и рёбер это определение совпадает с матрицей Лапласа. Известно, что спектр дискретного лапласиана лежит в отрезке [–1,1] и содержит ноль, поэтому его преобразуют в самосопряжённый оператор со спектром на отрез-

© Немцова О. М., Малюгин Д. В., 2015

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований УрО РАН, грант 12-М-26-2005.

ке [–2,0] (при Δ = I–M, где M усредняющий диагональный оператор) [3]. Для каждой модельной матрицы резистенсов построен свой усредняющий диагональный оператор, позволивший сместить спектр матрицы в область положительных значений.

Определение положительных собственных значений и собственных векторов матрицы позволяет разложить дискретный оператор в ряд по собственным функциям и интерпретировать каждое значение спектра как вес соответствующего резистивного расстояния R_{ij} ($\mathrm{mod}(i - j) = 1$, $\mathrm{mod}(i - j) = 2$, …, $\mathrm{mod}(i - j) = n$).

Использование спектрального анализа для решения обратной задачи электроразведки показало:

– на характер спектра резистивной матрицы не влияет форма измерительной установки (крест, квадрат, линейная установка и пр.) и, следовательно, спектральные значения матрицы резистенсов являются полностью характеристикой измеряемой среды;

– при увеличении количества узлов решетки характер спектра резистивной матрицы не меняется – увеличивается только количество значений в спектре (рис. 1). Можно ожидать, что существует минимальный набор узлов решетки, увеличение которого лишь уточняет спектральную кривую, без каких-либо качественных изменений;

– при отсутствии некоторых элементов в матрице резистенсов, ввиду неполноты данных эксперимента, или упрощения модели (например, рассматривается случай 2D), возникает вопрос о допустимости применения метода спектрального анализа. Очевидно, что спектр разреженной матрицы будет отличаться от спектра полной матрицы. Исследования показали, что для корректного решения спектральной задачи заполнение неизвестных элементов матрицы обязательно, и должно опираться на спектр соответствующей плотной матрицы для однородной среды.

Список литературы

1. *Хмелевский, В. К.* Электроразведка методом сопротивлений / В. К. Хмелевский, В. А. Шевнин ; под ред. В. К. Хмелевского, В. А. Шевнина. – М. : Изд-во МГУ, 1994. – 160 с.

2. *Лэм, Дж.* Теория солитонов. Метод обратной задачи. – М., 1980. – 184 с.

3. *Гонсалес, Р.* Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.

УДК 004.67

В. В. Симаков, магистрант
А. В. Самохвалов, канд. техн. наук, доцент кафедры
«Вычислительная техника»
E-mail: simakvladimir@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Сравнительное тестирование методов ускорения алгоритмов цифровой обработки информации

Современное развитие коммуникационных систем требует всё большего роста скоростей передачи информации. Для корректных передачи и приема сигнала повсеместно применяются алгоритмы цифровой обработки, которые достаточно требовательны к вычислительным ресурсам, поэтому повышение производительности этих алгоритмов является весьма актуальной проблемой.

В целях тестирования и имитации высокочастотного коммуникационного канала передачи информации производители выпускают специализированную аппаратуру. Например, одним из таких приборов является высокочастотный векторный генератор сигналов PXI-5672 от *National Instruments*. Указанное оборудование позволяет генерировать модулированные высокочастотные (ВЧ) сигналы в диапазоне до 2,7 ГГц и полосе 20 МГц с жесткого диска или банков памяти. В состав устройства входит 16-битный ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь), запись данных на который осуществляется при помощи хост-контроллера (рабочей станции). Аналоговый сигнал после ЦАП переносится в диапазон ВЧ. Особенностью PXI-5672 является отсутствие аппаратного модулятора сигнала, поэтому модуляция сигнала выполняется программно.

Например, при бинарной фазовой модуляции (BPSK) для передачи «0», используется начальная фаза 0 градусов, а для «1» – 180 градусов. При такой модуляции в сигнале появляется негативный эффект в виде расширения ширины спектра полезного сигнала за счет паразитных гармоник, появляющихся при резкой смене фазы модулированного сигнала. Для устранения данного эффекта применяется цифровая фильтрация, являющаяся одним из наиболее ресурсоемких процессов цифровой обработки сигнала.

В основе фильтрации лежит операция свертки:

© Симаков В. В., Самохвалов А. В., 2015

$$y(n) = \sum_{m=0}^{n} h(m)x(n-m), \quad (1)$$

где $y(n)$ – выходная последовательность, $h(m)$ – импульсная характеристика фильтра, $x(n)$ – входная фильтруемая последовательность [1].

При динамическом формировании высокочастотного ***широкополосного*** сигнала при помощи PXI-5672 предъявляются высокие требования к скорости фильтрации. Поскольку обеспечение широкой полосы сигнала достигается путем повышения частоты дискретизации, это в свою очередь увеличивает количество записываемых в ЦАП данных. Увеличивающийся поток данных негативно сказывается на производительности фильтрации, что в конечном итоге может помешать достичь желаемой ширины полосы сигнала.

С целью ускорения выполнения операции свертки по формуле (1) далее будут рассмотрены и проанализированы различные инструментальные средства и программные каркасы. Измерение и анализ скорости выполняется путем циклической фильтрации тестового массива фильтруемых данных в количестве 32 000 выборок, количество элементов импульсной характеристики – 1024. Фильтрация выполняется в течение одной секунды, таким образом, единица измерения производительности фильтрации определяется количеством отфильтрованных выборок в секунду. Тестирование выполняется на мобильном процессоре Intel Core i3 3110M.

В качестве первого базового инструмента для измерения и анализа скорости выполнения фильтрации выбран программный комплекс *LabVIEW*, поскольку *National Instruments* (NI) заявлена тесная интеграция данного комплекса и оборудования PXI-5672, вкупе позволяющие быстро реализовать разнообразные ВЧ-приложения [2].

Модуль фильтрация в *LabVIEW* реализован в качестве виртуального прибора *FIR Filter* VI. Согласно оговоренной выше методике тестирования, на вход виртуального прибора были поданы 32 000 выборок и 1024 коэффициента импульсной характеристики, генерируемые случайным образом. Фильтрация выполнялась циклически в течение минуты. Производительность получилась равной 704 тысячи выборок в секунду. Было выдвинуто предположение, что *LabVIEW* весьма громоздкая система, и производительность фильтрации может быть улучшена. Кроме того, согласно мониторингу загрузки ядер в диспетчере задач выявлено, что при выполнении виртуального прибора задействовано только одно ядро процессора.

Для сравнения производительности были выбраны следующие языки программирования, инструменты и каркасы:

– Язык C. Несмотря на большой возраст, данный язык является популярным по сей день, поскольку близок по скорости выполнения к ассемблеру.

– AVX. Расширение набора инструкций архитектуры x86, позволяющее выполнять векторные операции.

– OpenMP. Библиотека для C, C++, позволяющая реализовать параллельные вычисления.

– OpenCl. Открытый стандарт, регламентирующий написание программ для распараллеливания вычислений на гетерогенных устройствах, центральных и графических процессорах.

На первом этапе реализован алгоритм фильтрации на языке C согласно формуле (1). Скорость фильтрации получилась равной 209934 выборок в секунду, что примерно в 3,4 раза медленнее виртуального прибора в *LabVIEW*-окружении. Данный факт объясняется тем, что *LabVIEW* – компилируемый язык [3], при компиляции виртуального прибора выполняются оптимизации выполняемого кода для целевого процессора. Поскольку виртуальный прибор реализован NI, и нет никаких сведений и подробностей внутреннего устройства данного прибора, может быть выдвинуто предположение, что фильтрация реализована другим способом.

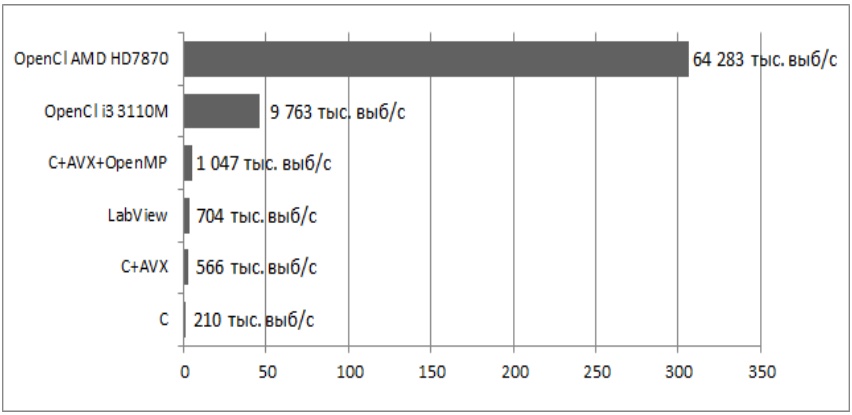
Второй итерацией по увеличению производительности C алгоритма может быть использование преимущества последних поколений процессоров Intel – расширенного набора инструкций, получивших наименование AVX. Особенность нововведения – появление 256-битых регистров, позволяющих одновременно выполнять операции над восемью 32-битными числами одинарной точности. Данный набор инструкций позволяет модифицировать алгоритм фильтрации, вычисляя одновременно сразу 8 выходных элементов, что приводит к увеличению скорости исходного алгоритма, реализованного на C, в 2,7 раза и составляет 566 тыс. выборок в секунду. Данный результат вплотную приближается к показателям *LabVIEW*.

Еще одним способом ускорения является использование библиотеки *OpenMP*. Данная библиотека интегрируется с gcc-компилятором, что позволяет писать многопоточные приложения, используя специальные директивы прямо в коде. С помощью данной библиотеки алгоритм модифицируется следующим образом: все итерации по вычислению выходных отфильтрованных элементов распределяются между всеми вычислительными ядрами процессора. Таким образом, получается, что теоретически при наличии четырехядерного процессора, алгоритм фильтрации должен ускориться в 4 раза. При реальном тестировании скорость алгоритма при использовании AVX-инструкций и распаралле-

ливания с помощью *OpenMP* достигает 1047 тыс. выборок в секунду, что в 1,85 раз быстрее однопоточного варианта с AVX-оптимизациями. Данный результат ниже ожидаемого четырехкратного прироста, что объясняется наличием у мобильного семейства процессоров Core i3 технологии *Hyper-Threading*, которая подразумевает 4 логических потока, но 2 физических ядра.

В качестве последнего средства ускорения алгоритма фильтрации используется технология *OpenCl*. Особенностью указанной технологии является её относительная гибкость, возможность выполнения кода на центральных и графических процессорах. С точки зрения модели вычислений *OpenCl*-приложение состоит из хостовой программы и набора ядер. *OpenCL*-ядро в общем виде представляет собой функцию, написанную на языке *OpenCL* C и скомпилированную *OpenCL*-компилятором [4]. Скорость выполнения *OpenCl*-фильтрации на Intel Core i3 3110M составила 9763 тыс. выборок в секунду, что в 46 (!) раз быстрее исходного алгоритма, реализовано только на C, и в 13 раз быстрее виртуального прибора *LabVIEW*. В качестве эксперимента *OpenCl*-код был запущен на дискретной видеокарте AMD HD7870, где скорость достигла 64283 тыс. выборок в секунду, что оказалось самым высоким результатом среди всех проведенных тестов.

Сводная диаграмма полученных результатов тестирования приведена на рисунке.



Сводная диаграмма результатов скорости выполнения фильтрации при использовании разных инструментов

Таким образом, выполненное исследование показало, что *OpenCl* является отличным инструментом для ускорения алгоритмов цифровой

обработки информации, причем выполнение алгоритмов на дискретных видеокартах приносит наибольший выигрыш в скорости. Предвзятое отношение разработчиков к скорости исполнения программ в среде *LabVIEW* неверно, данная среда вполне конкурентоспособна по критерию производительности.

Список литературы

1. *Оппенгейм, А.* Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – М. : Техносфера, 2006. – 858 с.
2. NI. Технологии National Instruments в ВЧ-приложениях // Russia NI. – URL: http://russia.ni.com/rfapps / (дата обращения: 6.11.2014).
3. NI. NI LabVIEW Compiler: Under the Hood // Russia NI. – http://www.ni.com/white-paper/11472/en/ (дата обращения: 8.11.2014).
4. *Munshi.* OpenCL Programming Guide / Munshi [ea al.]. – Addison-Wesley, 2011. – 648 p.

УДК 004.932:528.85

В. А. Сметанин, аспирант
В. Н. Милич, канд. техн. наук
E-mail: lssm@ftiudm.ru
Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск

Исследование применимости бета-распределения для аппроксимации распределения значений текстурных признаков

Рассматривается задача автоматического распознавания площадных природных объектов на многозональных космических снимках земной поверхности. В процессе обучения системы распознавания требуется оценить одномерные распределения признаков, которые переводят фрагмент изображения в точку в пространстве принятия решения.

Среди последних результатов было утверждение о возможности аппроксимации распределения текстурных признаков одним из семейств: нормальное, экспоненциальное и гамма-распределение. Примеры плотности распределения этих семейств приведены на рис. 1.

В случае применения таких аппроксимаций в параметрических методах принятия решения может возникнуть ряд сложностей. К таковым, например, можно отнести оценки совместных распределений двух или

© Сметанин В. А., Милич В. Н., 2015

более признаков, каждый из которых аппроксимирован различным семейством распределения.

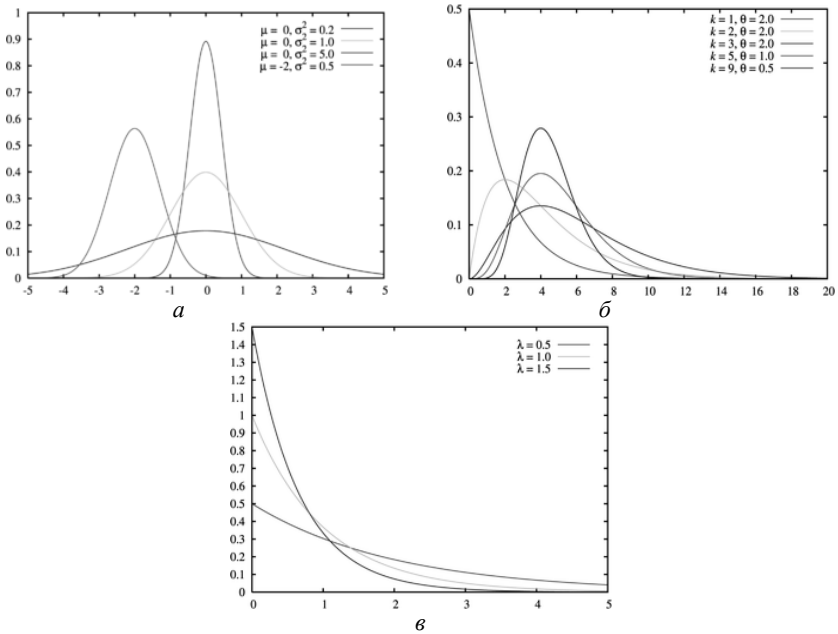


Рис. 1. Графики распределений при различных параметрах: *а* – нормальное распределение; *б* – гамма-распределение; *в* – экс. распределение

Для решения этой проблемы можно предложить замену перечисленных вариантов распределения одним, наиболее подходящим. При выборе объединяющего распределения нужно учесть, что среди набора этих распределений есть семейства, обладающие как симметричной, так и асимметричной функцией плотности. Это значит, что для адекватной аппроксимации, например, гамма-распределения нельзя использовать нормальное распределение и наоборот. Следовательно, нужно выбрать распределение, которое может быть как симметричным, так и асимметричным, в зависимости от параметров. Таким распределением является бета-распределение (рис. 2, *г*).

Таким образом, выдвигается гипотеза, что с помощью бета-распределения можно оценивать любые признаки, которые описывались с помощью перечисленных распределений.

В настоящей работе будем предполагать, что некоторая случайная величина распределена по одному из трех распределений: нормальное, экспоненциальное или гамма-распределение.

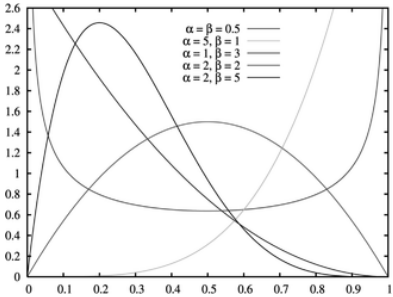


Рис. 2. Бета-распределение при различных параметрах

В качестве аппроксимации этой случайной величины предложено использовать семейство бета-распределений. При проведении эксперимента, для всех распределений были проделаны следующие действия:

1. Задаем параметры для каждого семейства распределений;
2. Графически строим плотность исходного распределения;
3. Генерируем выборку значений случайной величины с заданным распределением;
4. Строим гистограмму сгенерированной выборки;
5. Оцениваем параметры бета-распределения по сгенерированной выборке;
6. Графически строим плотность бета-распределения, сравниваем с плотностью исходного распределения;
7. Проверяем по критерию Пирсона принадлежность выборки к аппроксимирующему распределения;

Рассмотрим подробнее исследуемые распределения.

Бета-распределение B(α, β) с параметрами симметрии α, β (рис. 2) имеет плотность $f_1(x) = \dfrac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}$, $x \in (0, 1)$.

Преобразованное бета распределение $B(\alpha, \beta, a, b)$ имеет вид

$$f_2(y) = \frac{f_1\left(\dfrac{y-a}{b-a}\right)}{b-a}, \quad y \in (a, b),$$

где $y = a + (b - a)x$, $x = \dfrac{y - a}{b - a}$, a, b – границы области значений распределения; α, β – параметры симметрии.

Моделирование было проведено для параметров $\alpha = 2, \beta = 3, a = 0, b = 1$ с помощью метода Монте-Карло. Параметры распределения вычислялись по методу моментов [Сметанин В. А., Милич В. Н. Использование бета-распределения в задачах анализа информативности признаков и повышения эффективности решающего правила при распознавании текстурных изображений // Вестн. Удм. гос. ун-та. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2014. Вып. 3. С. 131–141]. Результаты моделирования, оценки параметров и аппроксимации приведены на рис. 3

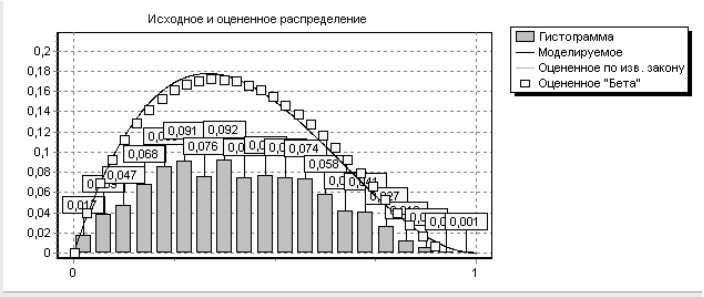


Рис. 3. Оценка параметров бета-распределения

Нормальное распределение $N(\mu, \sigma)$ с параметрами μ, σ имеет плотность

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad x \in \left(-\infty, +\infty\right).$$

Моделирование было проведено для наборов параметров $\mu = 0, \sigma = 1$; $\mu = 0{,}5$, $\sigma = 0{,}1$, с помощью преобразования Бокса – Миллера. Результаты моделирования и аппроксимации для первого набора параметров приведены на рис. 4.

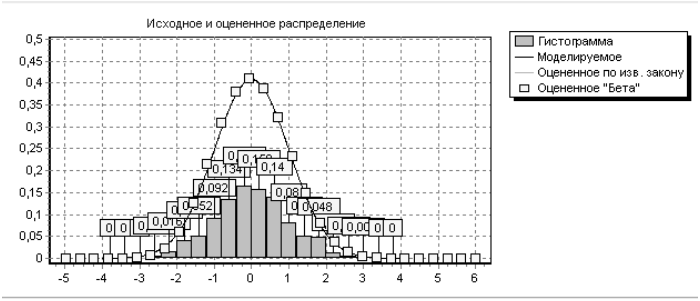


Рис. 4. Моделирование и аппроксимация нормального распределения

Экспоненциальное распределение Exp(λ) характеризуется параметром λ и имеет плотность

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x},\ x \in (0, +\infty).$$

Моделирование было проведем для параметров $\lambda = 2/3;\ \lambda = 2,5$ с помощью обратного преобразования. Для $\lambda = 2/3$ результаты моделирования и аппроксимации приведены на рис. 5

Рис. 5. Моделирование и аппроксимация экспоненциального распределения

Гамма распределение $\Gamma(\theta,k)$ характеризуется параметрами θ,k и имеет плотность

$$f(x) = \frac{1}{\theta^k \Gamma(k)} x^{k-1} e^{-x/\theta},\quad x \in (0, +\infty).$$

Моделирование проведем для наборов параметров $\theta = 0,9$, $k = 2$; $\theta = 0,5$, $k = 3$ с помощью метода суммирования экспоненциально рас-

пределенных значений. Для первого набора параметров результаты моделирования и аппроксимации приведены на рис. 6

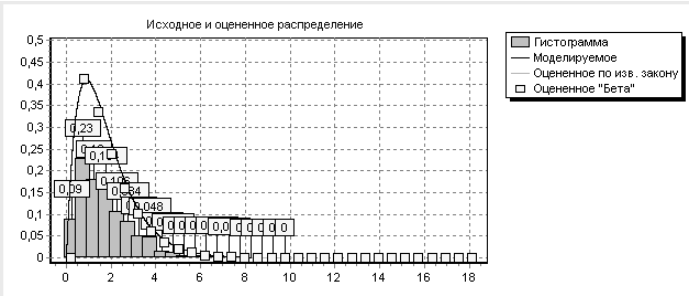


Рис. 6. Моделирование и аппроксимация гамма-распределения

Результаты моделирования для всех распределений и параметров приведены в таблице. Гипотеза о распределении проверялась критерием Пирсона с уровнем значимости α = 0,05.

Результаты моделирования и оценки параметров

Семейство исходного распределения	Набор параметров	Оцененные параметры бета-аппроксимации	Гипотеза критерия Пирсона
Бета-распределение	α = 2, β = 3, a = 0, b = 1	α = 2,01 β = 2,82 a = -0,03 b = 0,97	принята
Нормальное распределение	M = 0, σ = 1	α = 13,8 β = 16 a = -5,1 b = 5,8	принята
	M = 0.5; σ = 0.1	α = 13,8 β = 16 a = -0,01 b = 1,09	принята
Гамма-распределение	Θ = 0.9 K = 2	α = 1,51 β = 32,4 a = 0,1 b = 21,3	принята
	Θ = 0.5 K = 3	α = 1,47 β = 5,97 a = 0,272 b = 6,29	принята
Экспоненциальное распределение	λ = 2/3	α = 0,82 β = 9,68 a = 0,09 b = 17,9	принята
	λ = 2,5	α = 0,9 β = 49,5 a = 0,02 b = 20,5	принята

В процессе выполненной работы была подтверждена применимость бета-распределения для замены распределения выборки, полученной моделированием нормального, гамма- и экспоненциального распределений. Это подтверждается как визуальной близостью графиков исходных и аппроксимирующих распределений, так и проверкой по критерию Пирсона.

Таким образом, бета-распределение является адекватным семейством для аппроксимации распределений текстурных признаков, учитывающим их ключевые свойства: симметричность/асимметричность, конечный интервал и унимодальность. Использование единого семейства для оценки всех признаков также открывает перспективу для использования многомерной плотности, обобщающей бета-распределение.

УДК 621.375

В. В. Спиридонов, магистрант
К. Ю. Петухов, канд. тех. наук, доцент
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Проектирование систем на кристалле

Технический прогресс в области микроэлектроники привел к появлению принципиально нового класса СБИС – «систем на кристалле», что обусловлено, конечно, достижениями в части технологии производства интегральных схем. К настоящему времени плотность упаковки на кристалле достигает нескольких десятков миллионов вентилей. Вполне очевидно, что для проектирования и тестирования соответствующих СБИС необходимы принципиально новые подходы, методы и системы проектирования.

Система на кристалле (отечественное обозначение СнК, или оригинальное SoC – System-on-Chip) представляет собой функционально законченное изделие для встраивания в электронные устройства. СнК может представлять собой CPU с классической шинной архитектурой и набором функциональных блоков (фиксированная точка, плавающая точка, интерфейсные схемы), наличие которых и определяет их отличие от широко применяемых микроконтроллеров.

Проектирование подобных систем с «нуля» представляется довольно сложным процессом, поэтому разработчики используют наработанные раннее сложно-функциональные блоки (СФ-блоки, или IP-блоки (*Intellectual Property*, т. е. блоки, представляющие собой объект интеллектуальной собственности), которые представляются в виде топологических фрагментов (hard-блоки) или в виде моделей на языках описания аппаратуры (soft-блоки). С учетом этого проектирование СнК сводится к применению СФ-блоков, прошедших верификацию и имеющихся в сво-

© Спиридонов В. В., Петухов К. Ю., 2015

бодном доступе, а также собственно проектирование специальной части вашей СнК.

К настоящему времени применяются реализации СнК в виде заказной СБИС (ASIC – интегральная схема специального назначения) или на базе ПЛИС (*FPGA-Field-Programmable Gate Array* – программируемые пользователем вентильные матрицы). К настоящему времени еще не отказались также от проектирования систем на плате, которая представляет собой монтаж на печатной плате из отдельных микросхем.

У каждого из способов проектирования систем есть свои плюсы и минусы.

К преимуществам систем на плате можно отнести: использование серийных компонентов; простой процесс отладки; возможность замены вышедших из строя компонентов; невысокая стоимость создания опытных образцов и малых серий. Но стоит отметить, что применение серийных компонентов не даст роста производительности и уменьшения массогабаритных характеристик системы.

Преимущества систем на кристалле: получение более высоких технических характеристик, таких как производительность, энергопотребление, массогабаритные характеристики. Конечно, реализация системы в виде ASIC требует значительных финансовых затрат. Так, для ASIC с технологической нормой 90 нм и меньше, требуется финансирование более миллиона долларов.

Альтернативной системой, в смысле затрат, может быть система на базе ПЛИС, к преимуществам которой можно отнести: возможность использования готовых IP-модулей, малые затраты на разработку опытных образцов, возможность коррекции (перепрограммирования) проекта, низкое энергопотребление и малые габариты, масса в сравнении с системами на плате. Но, данные системы уступают по производительности и энергопотреблению системам, реализованным в виде ASIC.

Из приведенных оценок можно сделать вывод, что системы на кристалле являются неким средним уровнем систем и, безусловно, у этих систем есть будущее, которое представляется в вытеснении систем на плате.

Рассмотрим варианты реализации SoC на высокоуровневом описании, которое имеет вид исполняемой модели передачи на уровне регистра (*register-transfer-level* – RTL) – программы, написанной на языке описания аппаратного обеспечения. RTL-программа описывает каждый разряд состояния схемы и все операции, которые могут происходить в данном состоянии. Она описывает каждый регистр, счетчик, сумматор, логический блок, массив памяти. Конечно, уровень RTL это только один

из уровней маршрута системного проектирования SoC, которые здесь не рассматриваются.

Наиболее применимыми языками описания аппаратуры (*Hardware Description Language*) являются языки: VHDL, AHDL, Verilog и др. Рассмотрим и сравним перечисленные выше языки: VHDL, AHDL, Verilog.

VHDL (VHSIC (Very high speed integrated circuits) Hardware Description Language) – язык описания аппаратуры интегральных схем. Язык VHDL был разработан в 1983 г. по заказу Министерства обороны США. В настоящее время язык VHDL является международным стандартом в описании аппаратуры цифровых схем [1]. Впервые он был принят как стандарт в 1987 г. ANSI/IEEE Std 1076-1987. В России VHDL также является стандартом по ГОСТ Р 50754–95. VHDL поддерживается многими приборостроительными предприятиями как в целом в РФ, так и на предприятиях Удмуртии.

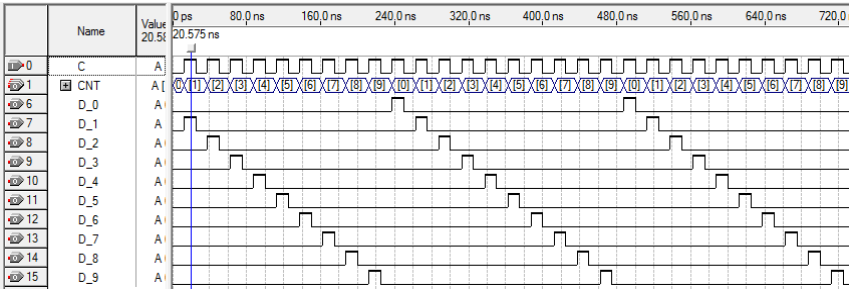
AHDL(*Altera Hardware Description Language*) – язык описания аппаратуры *Altera*, был разработан *Altera Corporation*, предназначенный для описания комбинационных логических устройств, цифровых автоматов, и таблиц истинности с учетом особенностей ПЛИС, выпускаемых *Altera Corporation*. AHDL интегрирован в САПР MAX +PLUS II и *Quartus* от той же *Altera Corporation* [2].

Verilog HDL (*Verilog Hardware Description Language*) – язык описания аппаратуры, используемый для описания и моделирования электронных систем, был разработан в 1984 г. фирмой *Automated Integrated Design Synstems*. При разработке *Verilog* синтаксис заимствовали от языка высокого уровня Си. С помощью *Verilog* можно выполнить описание, моделирование, а также синтез цифровых схем с использованием различных примитивов таких как: «И», «ИЛИ», «НЕ», различные триггеры и другие элементы. Достоинством *Verilog* является то, что он может заменить несколько специализированных языков. Можно описывать как схемы аппаратуры, так и алгоритмы функционирования этой аппаратуры. Поскольку *Verilog* по синтаксису похож на Си, то он содержит большое количество типов данных: скалярные типы данных, указатели, массивы, строки, файлы и записи. С увеличением использования языка фирма разработчик решила стандартизировать язык, в 1995 г. был принят стандарт IEEE 1364—1995(Verilog-95). Также было принято несколько дополнений к языку, эти документы были зарегистрированы в стандартах IEEE 1364—2001 (Verilog-2001) и стандарт IEEE 1364–2005 [1].

Для наглядности использования языка VHDL приведем программный код, описывающий схему двоично-десятичного счетчика, связанного с дешифратором:

```
--Дешифратор
entity STAT is – объявление объекта
  port ( A0, A1, A2, A3, E: in BIT;
D0,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8,D9,D10,D11,D
12,3,D14,D15: out BIT );-- описание входов
end STAT;-- окончание объявления объекта
architecture STAT_arch of  STAT  is  -- описа-
ние архитектуры
begin
--логические выражения
D0 <= not A0 and notA1and not A2 and notA3
…
 D15 <= A0 and A1 and A2 and A3 and E;
end STAT_arch; -- конец описания архитектуры
--Двоично-десятичный счетчик
entity STAT1 is—описание объекта
 port (clk: in BIT;
 Q: buffer INTEGER range 0 to 10);--описание
входов
end STAT1;--конец описания объекта
architecture STAT1_arch of STAT1 is—
описание архитектуры
begin
  process (clk)
begin
 if Q=10 then  Q <= 0;--проверка на 10
 elsif CLK'event and CLK='1' then Q <= Q + 1;--
если больше 10 то сброс в 0 иначе +1
end if;
end process;
end STAT1_arch;--конец описания
```

Для проверки работоспособности схемы была проведена симуляция в САПР *Quartus*, где счетчик соединен цепями с дешифратором, в результате соответствующие выходы дешифратора переходят в состояние логической «1». Результаты симуляции на рисунке.



Симуляция в САПР *Quartus*

Если сравнивать языки описания, то можно сказать, что синтаксически языки очень схожи и имеют незначительные различия в описании выводов. Также у языков несколько различается форма записи арифметических и логических операторов, а также типов данных. Наибольшее отличие от VHDL и AHDL имеет *Verilog*, это связанно с тем, что изначально при разработке его синтаксис сделали похожим на синтаксис Си. Что позволяет программистам знакомым с семейством языков Си быстрее освоить *Verilog*. Значительных функциональных различий при описании простых элементов, таких как дешифратор не выявлено.

Исходя из всего вышесказанного видно, что все представленные выше языки позволяют описывать простые элементы и устройства, синтаксически языки похожи, имеют схожий функционал и позволяют решать разнообразные задачи.

Приведенные выше сопоставления языков проектирования и примеры реализации достаточно простого функционального блока не претендуют на какую-нибудь полноту изложения, а ставят целью дать краткое сопоставление языков описания схем с практическим применением этих языков.

В заключение отметим, что SoC в виде ПЛИС становятся основной элементной базой для различного применения как в цифровой обработке, так и в аналоговой. Безусловное преимущество таких систем проявляется при проектировании специализированных устройств, направленных на получение качественных характеристик реализуемых функций.

Список литературы

1. *Поляков, А. К.* Языки VHDL и Verilog в проектировании цифровой аппаратуры. – М. : СОЛОН-Пресс, 2003. – 320 с.

2. *Стешенко, В. Б.* ПЛИС фирмы Altera: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры. – М. : Издат. дом «Додэка-XXI», 2007. – 576 с.

УДК 621.391.8

П. В. Фарафонов, магистрант
В. Б. Гитлин, д-р техн. наук, профессор кафедры
«Вычислительная техника»
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Погрешность оценки активности речи по энергии сигнала

Разрабатываемый детектор речевой активности (VAD – *Voice Activity Detection*) [2] предназначен для установки в систему регистрации параметров мотовоза метрополитена. В техническом задании на систему регистрации предусмотрена видеорегистрация, однако запись команд машиниста, его переговоров с диспетчерской службой и поездной бригадой не предусмотрена. В то же время подобные функции регистраторов существуют в авиации, на железнодорожном транспорте. Отсутствие процедуры записи речевого сигнала в регистратор мотовоза возможно заключается в следующем.

Запись переговоров в кабине машиниста должна вестись непрерывно в течение 20 часов. Современные средства вычислительной техники и информационные объемы устройств памяти [1] позволяют выполнить запись всех аудиосигналов за указанный промежуток времени. Однако последующая обработка всей аудиоинформации за 20 часов непрерывной записи может занимать длительное время, и трудно реализуема.

Возникает задача разработки автоматического алгоритма определения речевого сигнала на фоне шума в совместном сигнале «речь и шум», поступающих на устройство записи аудиоинформации. Наличие такого обнаружителя позволит, во-первых, сократить объем записываемой в память информации, во-вторых, уменьшить объем и повысить качество последующей обработки аудиозаписей. В случае непрерывной записи переговоров в кабине машиниста или в случае использования для записи аудиосигнала кольцевого буфера, от алгоритма VAD не требуется точной оценки начала и окончания речевого сигнала на фоне шума. Анализ этого сигнала можно начинать с некоторым опережением, а заканчивать –

© Фарафонов П. В., Гитлин В. Б., 2015

с некоторым запаздыванием. Величина опережения и запаздывания должна превышать значения погрешности появления и окончания сигнала речевой активности относительно действительного появления речевого сигнала на фоне окружающего шума. Алгоритм принятия решения VAD должен быть достаточно простым и решение VAD должно приниматься в реальном масштабе времени.

Один из простейших алгоритмов VAD состоит в сравнении энергии шума с энергией смеси речевого сигнала с шумом [3]. Если смесь речевого сигнала с шумом аддитивна, то кратковременная энергия смеси равна сумме энергий шума и речи на интервале, длительность которого равна длительности кадра анализа:

$$E = E_N + E_S, \tag{1}$$

где E – общая энергия кадра сигнала; E_N – энергия шума; E_S – энергия речевого сигнала на интервале кадра анализа.

Решение о наличии речи в сигнале принимается при условии:

$$E > E_N. \tag{2}$$

Оценка величины кратковременной энергии сигнала может быть вычислена по формуле:

$$E = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^2, \tag{3}$$

где x_i – значение отсчета сигнала; здесь i – 1…N – номер отсчета; N – длина кадра анализа в отсчетах.

Речевой сигнал и шум не остаются постоянными во времени. По этой причине значение энергии E, а также выполнение условия (2) зависят от момента измерений и длительности интервала расчета.

Известно, что речевой сигнал состоит из гласных звуков с большой энергией и согласных звуков, энергия которых значительно ниже гласных [4]. Диапазон применения энергии речевого сигнала может составлять порядка 40 дБ [4]. Энергия окружающего шума обычно изменяется медленнее, чем речевой сигнал. Если измерить энергию сигнала на участке, на котором речевой сигнал отсутствует, он будет соответствовать значению E_N.

Момент превышения общей энергией E порогового значения E_N зависит от звукового состава речи. Принятие решения о наличии речевого сигнала на основе выражения (2) (VAD = 1) будет происходить с погрешностью, зависящей от уровня шума и уровня речевого сигнала. После принятия решения о наличии речи, сигнал VAD = 1 должен удерживаться в течение интервала возможного существования речи, включая

паузы между словами [5]. Если в течение этого интервала наличие речевого сигнала не подтвердилось, то принимается решение об отсутствии речи (VAD = 0).

Укрупненный алгоритм принятия решения о наличии речи представлен на рис. 1.

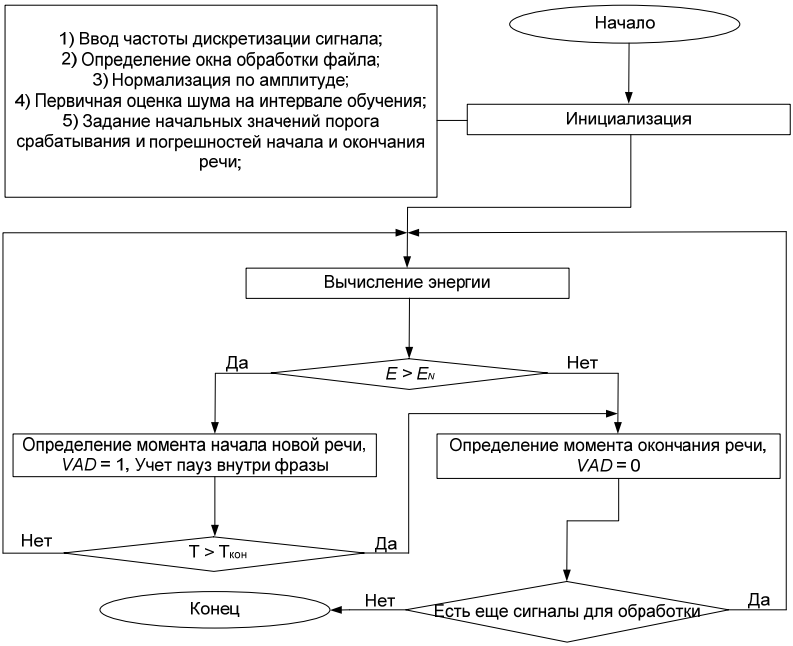


Рис. 1. Укрупненный алгоритм принятия решения о наличии речи

Данный алгоритм был реализован в пакете *Matlab* и протестирован на пятнадцати файлах звукозаписи, которые были созданы согласно регламенту переговоров при поездной и маневровой работе машиниста и помощника машиниста [6].

Для исследования были выбраны два параметра, которые влияют на обнаружение речи, это размер окна обработки и порог срабатывания. Были выбраны четыре размера окна обработки при частоте дискретизации 44100 Гц, $N1$ = 1000 отсчетов (23 мс), $N2$ = 2000 отсчетов (45 мс), $N3$ = 3000 отсчетов (68 мс), $N4$ = 8000 отсчетов (182 мс) и заданы пороги срабатывания 0,25, 0,5 и 0,75 от максимального значения энергии в окне обработки.

Целью исследования является определение погрешности оценки отсчетов начала и окончания речевого участка для всех указанных окон обработки и порогов срабатывания.

Оценку погрешности выполнили путем сравнения действительных моментов начал и окончаний речевого сигнала с найденными значениями начал и окончаний в соответствии с предложенным алгоритмом. Усредненные результаты работы программы приведены в таблице.

Результаты работы программы

Размер окна *N*, в отсчетах	Порог срабатывания	Погрешность оценки начала речи		Погрешность оценки окончания речи	
		в отсчетах	в мс	в отсчетах	в мс
1000	0,25	12090	274	11855	268
	0,5	22532	510	83277	1888
	0,75	61700	1399	179725	4075
2000	0,25	10373	235	11815	267
	0,5	25200	571	76039	1724
	0,75	61020	1383	149814	3397
3000	0,25	11391	258	9754	221
	0,5	35999	816	113052	2563
	0,75	52275	1185	170883	3874
8000	0,25	6125	138	24435	554
	0,5	33216	753	110487	2505
	0,75	51417	1165	196864	4464

Согласно проведенным исследованиям, средняя погрешность оценки начала речи для порогов 0.25, 0.5, 0.75 от максимума энергии составила 226; 663; 1283 мс соответственно, а для окончания речи для тех же значений порогов 328; 2170; 3953 мс соответственно.

На основе этих значений построены кривые зависимостей начала и окончания речи, представленные на рис. 2, которые можно использовать для определения погрешности при различных порогах срабатывания. Полученные зависимости достаточно хорошо аппроксимируются линейными зависимостями.

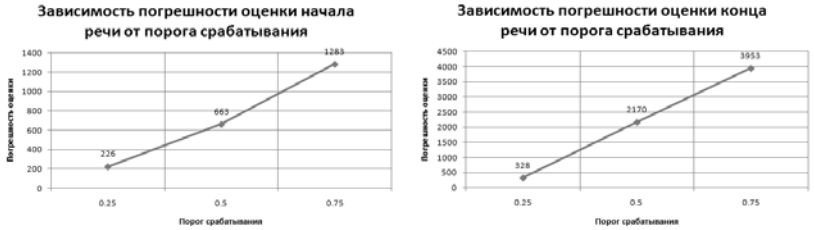


Рис. 2. Погрешность принятия решения о наличии речевой активности

Пример работы алгоритма представлен на рис. 3, где верхнее окно – исходный звуковой сигнал с порогом срабатывания, нижнее окно – энергия сигнала, превышающая порог срабатывания, и сигнал VAD с отметками начала, окончания речи и отметками пауз внутри фразы.

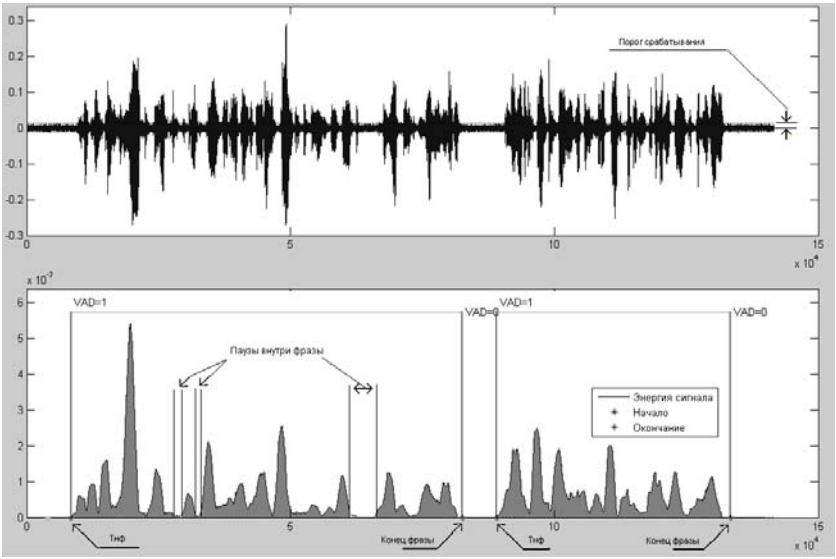


Рис. 3. Результат работы алгоритма по оценке речевой активности

Список литературы

1. *Цилькер, Б. Я.* Организация ЭВМ и систем : учебник для вузов / Б. Я. Цилькер, С. А. Орлов. – Питер, 2004. – 654 с.

2. *Хвостов, А. В.* Разработка и математическое моделирование алгоритмов обнаружения речевой активности на фоне интенсивных шумов : автореф. дис. … канд. техн. наук. – Ульяновск, 2008. – 20 с.

3. *Рабинер, Л. Р.* Цифровая обработка речевых сигналов / Л. Р. Рабинер, Р. В. Шафер ; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1981. – С. 113–119.

4. *Кодзасов, С. В.* Общая фонетика / С. В. Кодзасов, О. Ф. Кривнова. – М. : РГГУ, 2001. – 592 с.

5. *Жемерова, С. Б.* Темпоральные характеристики интонации речи дикторов телевидения. Речевые технологии // Народное образование. – 2009. – № 1. – С. 22–31.

6. Министерство путей сообщения Российской Федерацией. Распоряжения. О регламенте переговоров при поездной и маневровой работе на железнодорожном транспорте общего пользования [№ 876р от 26.09.2003] // Консультант Плюс. – URL: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?base=EXP;frame=1;n=337576;req=doc

Научное издание

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ В XXI ВЕКЕ – 2014.
ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА

Сборник материалов X Всероссийской научно-технической
конференции с международным участием
(Ижевск, 12–14 ноября 2014 года)

Корректор *Н. К. Швиндт*
Технический редактор *С. В. Звягинцова*
Верстка *Н. Ю. Боярской*

Директор Издательства ИжГТУ *Г. А. Осипова*

Выпуск в свет 10.06.2015. Тираж 100 экз. Заказ № 115

Издательство Ижевского государственного технического университета
имени М. Т. Калашникова
Отпечатано в типографии Издательства ИжГТУ. 426069, Ижевск, Студенческая, 7